

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

**ANALÝZA KVALITY IPTV
V ZÁVISLOSTI NA KONFIGURACI
WDM-PON**

**ANALYSIS OF THE IPTV QUALITY
DEPENDING ON THE
CONFIGURATION OF WDM-PON**

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
KATEDRA TELEKOMUNIKAČNÍ TECHNIKY

**ANALÝZA KVALITY IPTV V ZÁVISLOSTI NA
KONFIGURACI WDM-PON**
**ANALYSIS OF THE IPTV QUALITY DEPENDING
ON THE CONFIGURATION OF WDM-PON**

2012

Pavol Papaj

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavol Papaj**
Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie
Studijní obor: 2612R059 Mobilní technologie
Téma: **Analýza kvality IPTV v závislosti na konfiguraci WDM-PON**
Analysis of the IPTV Quality Depending on the Configuration of WDM-PON

Zásady pro vypracování:

WDM-PON (Wavelength Division Multiplexed-Passive Optical Network) představují v současné době další technologický krok v rámci expanze optických přístupových sítí. Cílem absolventské práce je zprovoznit IPTV (Internet Protocol Television) stream prostřednictvím VLC/IP-DVB streameru a provést analýzu kvality IPTV na základě konfigurace WDM-PON. Při analýze bude využito sofistikovaných měřících přístrojů firmy EXFO.

1. Popište danou technologii WDM-PON.
2. Popište metodiku měření kvality obrazu a IPTV streamu.
3. Vytvořte na bázi optické přístupové sítě WDM-PON přenos IPTV v rámci služby Triple Play.
4. Prostřednictvím zátěžových testů vytvořené WDM-PON topologie proveďte analýzu vlivu kvality IPTV na samotném nastavení WDM-PON.

Seznam doporučené odborné literatury:

PRAT, Josep. *Next-Generation FTTH Passive Optical Networks: Research towards unlimited bandwidth access*. Barcelona: Springer, 2008. 187 p. ISBN 978-1-4020-8469-0.

LAM, Cedric F. *Passive Optical Networks: Principles and Practice*. 84 Theobald's Road, London: Academic Press in an imprint of Elsevier, 2007. 324 s. ISBN 978-0-12-373853-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Koudelka**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 3. 5. 2012

.....
Meno Příjmení

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalarsku práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalarsku práci užít (§ 35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že bakalarská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalarskej práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalarskej práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ... 3.5.2012

.....
Meno Priezvisko

Jméno a příjmení autora práce: Pavol Papaj

Adresa trvalého bydliště autora práce: Slovenská Republika, Makov ústredie č.80, psč.02356

Anotace bakalárskej práce

Papaj, Pavol. *Analýza kvality IPTV v závislosti na konfigurácii WDM-PON* : bakalárska práca. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektroniky a informatiky, Katedra telekomunikační techniky, 2012, 51 s. Vedoucí práce: Koudelka, Petr.

Abstrakt: Táto bakalárska práca sa zaoberá analýzou kvality IPTV v rámci služby Triple Play a v závislosti na konfigurácii WDM-PON. V prvej časti popisujem vlastnosti optických prístupových sietí a ich rozdelenie do jednotlivých skupín podľa spôsobu realizácie. V ďalšej časti sa venujem samotnej technológii WDM-PON a jej spôsobom realizácie. V ďalšom kroku sa venujem službe IPTV na ktorú som robil meranie kvality sofistikovanými meriacimi prístrojmi firmy EXFO. Ďalšie meranie bolo zamerané na vyhodnotenie kvality obrazu a video signálu pomocou zvolených objektívnych metód SSIM a PSNR. Toto meranie bolo zamerané na porovnanie streamovaných videí s originálnym videom. Na porovnanie som použil voľne šíriteľný program MSU Video Quality. Všetky merania som realizoval na WDM-PON sieti, ktorú som pripravil a nakonfiguroval.

Kľúčové slová: Optická prístupová sieť, optická distribučná sieť, Triple Play, VLC, IPTV, PON, EPON, WDM-PON, meranie kvality IPTV, SSIM, PSNR

Annotation of Bachelor Thesis

Papaj, Pavol. *Analysis of the IPTV Quality Depending on the Configuration of WDM-PON: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Telecommunications, 2012, 51 p. Thesis head: Koudelka, Petr.

Abstract: This Bachelor thesis deals with IPTV quality analysis within Triple Play service depending on WDM-PON configuration. In the first part, I have described properties of optical access networks and their division into groups by way of realization. In next step, I have wrote about IPTV service that was tested with sophisticated measuring tools made by EXFO. Next measurement was focused on evaluation quality of picture and video signal using chosen objective methods SSIM and PSNR. This measurement was focused on comparing streamed video signals and original video sample. For comparing, freeware MSU Video Quality was used. All measurements were made at WDM-PON network, that I had prepared and configured by myself.

Keywords: Optical Acces Network, Optical Distribution Network, Triple Play, VLC, IPTV, PON, EPON, WDM-PON, IPTV quality measurment, PSNR, SSIM.

Zoznam použitých symbolou a skratiek

α	alfa
β	beta
γ	gama
μ	mí
σ	sigma
Σ	suma
10GPON	pasívna optická sieť s prenosovou rýchlosťou 10 Gbit/s
APON	pasívna optická sieť založená na ATM
BPON	širokopásmová pasívna optická sieť
DHCP	protokol zabezpečujúci pridelovanie IP adries koncovým zariadeniam
DVB	digitálne vysielanie TV vysielania
EPON	pasívna optická sieť na báze Ethernetu
GePON	pasívna optická sieť na báze Gigabite Ethernet
GPON	pasívna optická sieť s prenosovou rýchlosťou 1 Gbit/s
HDTV	televízia vo vysokom rozlíšení
HVS	model ľudského vnímania
IPTV	televízne vysielanie šírene pomocou IP siete
ITU	medzinárodná telekomunikačná únia
MPEG	skupina vyvíjajúca štandardy na kódovanie audiovizuálnych formátov
ODN	optická distribučná sieť
OLT	optické linkové zakončenie
ONU	optické sieťové zakončenie
P2MP	komunikácia jedného bodu s viacerými bodmi
P2P	komunikácia bod s bodom
PON	pasívna optická sieť
PSNR	pomer medzi maximálnym signálom a šumom
QoS	Quality of Service, rezervácia a riadenie dátových tokov
SDTV	televízia s rozlíšením splňujúca normy
SSIM	index vyjadrujúci podobnosť dvoch obrazov
VLC	multimediálny prehrávač
VoD	systém umožňujúci sledovať video na vyžiadanie
VoIP	služba pre prenos hlasu a zvuku v IP sieťach

WDM-PON	pasívna optická sieť využívajúca WDM technológiu
XG-PON	pasívna optická sieť na báze Ethernetu s prenosovými rýchlosťami 10 Gbit/s

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Optické prístupové siete	2
2.1.	Jednotlivé prvky optických prístupových sietí	3
2.2.	FTTx rozdelenie podľa dostupnosti vlákna k účastníkovi	3
2.3.	Prvky používané v ODN a špecifikácia prenosu	5
2.4.	Point-to-point (P2P) a Point-to-multipoint (P2MP) Optické prístupové siete	5
2.4.1.	Siete Point-to-point (P2P)	5
2.4.2.	Siete Point-to-multipoint (P2MP)	6
3.	Pasívne optické prístupové siete PON a typy PON sietí	7
3.1.	APON	7
3.2.	BPON	7
3.3.	GPON	7
3.4.	XG-EPON	8
3.5.	EPON	8
3.6.	10GPON	8
4.	Optické prístupové siete WDM – PON	9
4.1.	Princípy WDM – PON	9
4.2.	Výhody a nevýhody WDM – PON	11
4.2.1.	WDM-PON ponúka nasledujúce výhody	11
4.2.2.	Nevýhody WDM-PON zahŕňajú	11
4.3.	Variety realizácie WDM – PON	12
4.3.1.	Varianta WDM-PON s pevne priradenými individualnými vlnovými dĺžkami	12
4.3.2.	Varianta WDM-PON s využitím smerovej odbočnice typu AWG	13
4.4.	Hybridné PON	14

5.	Triple Play	15
5.1.	IPTV.....	15
5.2.	VoIP – Telefonovanie cez Internet	15
5.2.1.	VoIP – požiadavky na prenos paketov.....	16
5.3.	VoD.....	16
5.4.	Kvalita služieb QoS	16
5.5.	Jitter.....	17
5.6.	Latency.....	17
5.7.	Packet order.....	17
5.8.	Packet loss.....	17
5.9.	RFC 2544	18
5.10.	ITU-T EtherSAM.....	18
5.10.1.	EtherSAM výhody.....	19
5.10.2.	EtherSAM výhody pri meraní	19
6.	Metodika merania kvality obrazu a video signálu	20
6.1.	Subjektívne metódy merania kvality.....	20
6.2.	HVS model ľudského vnímania.....	21
6.3.	Objektívne meranie kvality obrazu a video signálu	22
6.3.1.	Metódy objektívneho merania kvality obrazu.....	22
6.4.	SSIM Structural Similarity Index.....	24
7.	IPTV štruktúra.....	27
7.1.	Šírenie IPTV	27
7.2.	Protokoly používané pre prenos video toku v IPTV	28
7.2.1.	UDP.....	28
7.2.2.	RTP	28
7.2.3.	RTSP	29
7.2.4.	IGMPv2.....	29

7.2.5. IGMPv3	30
7.3. Kodeky používané v IPTV	30
7.3.1. MPEG TS	30
7.3.2. MPEG-2/H.264	31
7.3.3. MPEG-4 AVC/H.262	31
8. VIDEOLAN	32
8.1. VLC media player	32
8.2. Prenos videa typu unicast	32
8.3. Prenos videa typu broadcast	33
8.4. Prenos videa typu multicast	33
9. Meranie kvality IPTV	34
9.1. Konfigurácia OLT	34
9.1.1. Konfigurácia DHCP na OLT	36
9.1.2. Aktivácia jednotlivých ONU	37
9.2. Meranie služby EtherSAM	37
9.3. Objektívne meranie kvality obrazu a video signálu	42
9.3.1. Výber vhodnej videosekvencie	42
9.3.2. Tvorba testovacej sekvencie	43
9.3.3. Postup merania	43
9.3.4. Spracovanie a vyhodnotenie nameraných výsledkov	43
10. Záver	46
Zoznám použitej literatúry	46
Zoznam príloh	48

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1:	Rozdelenie optickej prístupovej siete.....	2
Obr. 2:	Architektúry FTTx. [1].....	4
Obr. 3:	Point-to-point optická prístupová sieť [3].....	5
Obr. 4:	Point-to-multipoint optická prístupová sieť [5].....	6
Obr. 5:	Zapojenie pasívne optickej siete.	7
Obr. 6:	Kanály CWDM definované podľa ITU-T G. 694.2. (pro fiber).....	9
Obr. 7:	Kanály CWDM definované podľa ITU-T G. 694.2.	13
Obr. 8:	Príklad poškodenia obrazu.	18
Obr. 9:	EtherSAM fázy postupu.	19
Obr. 10:	Stupnica kvality používaná u metódy DSCQS.	21
Obr. 11:	Objektívna metóda hodnotenia vzájomných rozdielov obrazov.	22
Obr. 12:	Bloková schéma pre výpočet metriky SSIM.....	25
Obr. 13:	Štruktúra IPTV siete. chlebo 20.....	27
Obr. 14:	Schéma zapojenia siete.	34
Obr. 15:	Nastavenie putty.....	35
Obr. 16:	Logovacie okno.	36
Obr. 17:	Schema zapojenia EXFO zariadení.....	37
Obr. 18:	Úvodné okno FTB 860 NetBlazer.....	38
Obr. 19:	Nastavenie DHCP na FTB 860.	38
Obr. 20:	Nastavenie hodnôt pre meranie EtherSAM.....	39
Obr. 21:	Graf znázorňujúci priemernu priepustnosť	40
Obr. 22:	Graf znázorňujúci Round-trip Latency.	40
Obr. 23:	Max Jitter.	41
Obr. 24:	Graf zobrazujúci strátovosť packetov	41
Obr. 25:	Testovacia video sekvencia.....	42

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1:	Porovnanie technológií WDM.....	10
Tab. 2:	Bodová stupnica kvality obrazu / video signálu.....	20
Tab. 3:	Prenos digitálnej televízie.....	27
Tab. 4:	Výsledky merania vplyvu QoS na kvalitu IPTV.....	39
Tab. 5:	Parametre testovanej video sekvencie.....	42
Tab. 6:	Výsledky merania SSIM a PSNR.....	44

1. Úvod

Dynamický rozvoj vedy a techniky, má za následok neustále sa zvyšujúce nároky na šírku pásma a prenos informácií. Úlohou telekomunikácií je preto predovšetkým zvyšovanie prenosovej rýchlosti a poskytovanie služieb, o ktoré prejavý záujem zákazník.

V práci sa venujem problematike IPTV, v rámci služby Triple Play. Táto služba nám zabezpečuje prenos videa, hlasu a internetu v jednom balíku. Môže sa nám zdať, že zbytočne platíme za niečo, čo takmer nepoužívame. Vieme však, že v dnešnej dobe sa už len málo kto zaobíde bez televízie a internetu. Pevné telefónne linky nahradili mobilné telefóny. Nároky užívateľov sa čoraz viac zväčšujú a chcú mať všetko a v čo najvyššej kvalite. Pretu tu je IPTV, služba, ktorá ponúka kvalitné video formáty vo vysokom rozlíšení, zabezpečuje vysokú prenosovú rýchlosť dát a lepšiu kvalitu hlasu.

Prácu som rozdelil na dve hlavné časti. V prvej časti sa venujem teoretickým východiskám zvolenej problematiky. V druhej časti sa venujem meraniu nového štandardu pre testovanie Ethernetových služieb -EtherSAM pomocou sofistikovaných meriacich zariadení firmy EXFO. Samotné vyhodnotenie kvality obrazu som realizoval za pomoci softwaru, ktorý porovnáva videa pomocou objektívnych metod. Všetky namerané hodnoty sú spracované do grafov a v závere vyhodnotené.

Cieľom bakalárskej práce je problematika IPTV v rámci služby Triple Play v pasívnych optických prístupových sieťach a analyzovať vplyv konfigurácie (zaťaženia) WDM-PON siete na kvalitu streamovaného obrazu.

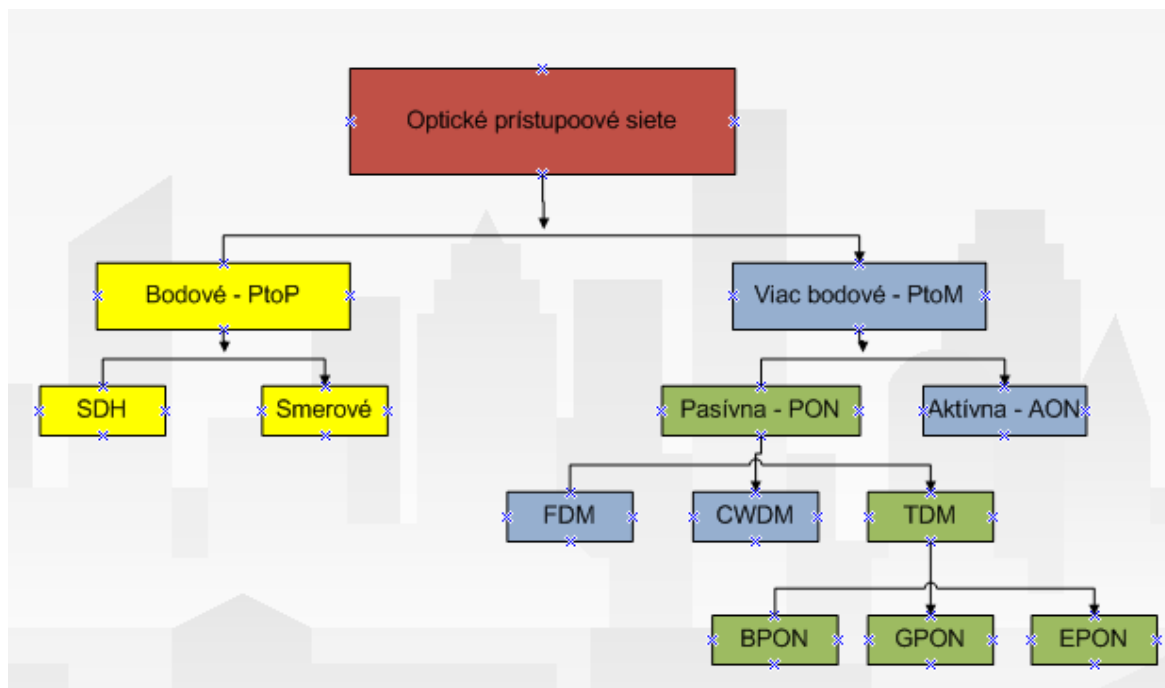
2. Optické prístupové siete

V minulosti sme sa stali svedkami rýchleho rozvoja globálnej komunikačnej infraštruktúry a rýchleho rastu internetu, sprevádzané rastúcim počtom užívateľov a ich nárokmi. Najnáročnejšou úlohou súčasného rozvoja internetu je prístup k sieti. Preto musíme v súčasnosti riešiť viacero otázok.

- ako zabezpečiť pripojenie miliónom užívateľov k internetu, poskytovať im rôzne služby, vrátane dátovej, hlasovej a videa,
- ako uspokojiť požiadavky na multimediálne aplikácie a vysoké požiadavky užívateľov na širokopásmové pripojenie, nízke náklady a flexibilný prístup.

Pokiaľ chceme poskytnúť do každej domácnosti a každému koncovému užívateľovi multimediálne služby, optické prístupové siete by mali podporovať celý rad aplikácií: dátové, hlasové a video služby.

Optické vlákna sú ideálnym riešením pre vysokorýchlostné komunikačné systémy a siete, avšak náklady sú stále pomerne vysoké. Ale kvôli vysokým nárokom užívateľov a rozvíjajúcich sa aplikácií, šírka pásma medených médií dosiahla svoj limit. Tým pádom sa pasívna optická sieť stáva oveľa atraktívnejším riešením. Pri implementácii optických prístupových sietí sa treba zameriavať na jednotlivé komponenty. Optické prístupové siete sú budované v dvoch variantách a to: bod spojenie (Point to Point) a viacbodové spojenie (Point to Multipoint). Na obrázku 1 je znázornené rozdelenie optickej prístupovej siete. [1]



Obr. 1: Rozdelenie optickej prístupovej siete.

2.1. Jednotlivé prvky optických prístupových sietí

Optická prístupová sieť ODN (Optical Distribution Network) využíva väčšinou siete typu FTTx. ODN je súbor optických vlákien a zariadení, pomocou ktorých sa signál prenáša ku koncovému účastníkovi.

Základné časti optickej prístupovej siete:

- OLT (Optical Line Termination) – nachádza sa na rozhraní s prístupovou sieťou a zaisťuje funkcie sieťového rozhrania medzi prístupovou sieťou a sieťami telekomunikačných služieb,
- ONU (Optical Network Unit) – slúži ako rozhranie medzi metalickou a optickou časťou FTTx siete,
- ONT (Optical Network Terminal) – tvorí rozhranie, ktorého úlohou je zabezpečiť funkcie (napr. v rámci služby Triple Play), medzi prístupovou sieťou a zariadeniami užívateľou,
- ODN (Optical Distribution Network) – súbor optických prenosových prostriedkov medzi OLT a jednotkami ONU. Patria sem optické vlákna a optické rozbočovače.

2.2. FTTx rozdelenie podľa dostupnosti vlákna k účastníkovy

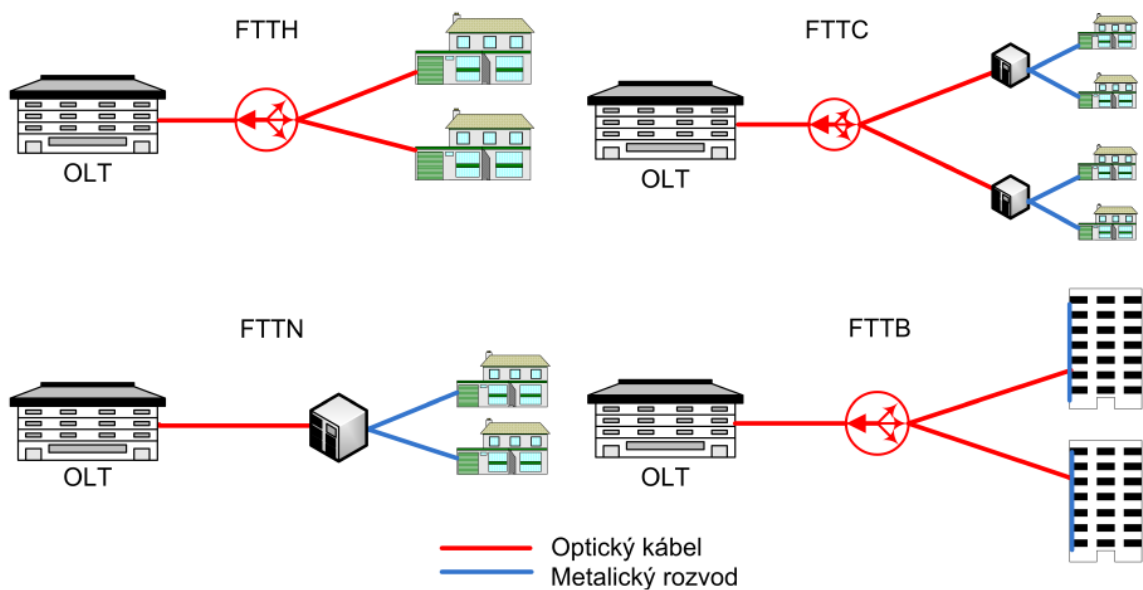
FTTx (Fiber to the X) siete majú viacero možných variant (viz. obr. 2). Z ich názvu môžeme vyčítať dĺžku vedenia optického vlákna a miesto, kde je optické vlákno zakončené a ďalej pokračuje už metalické vedenie.

Architektúry FTTx siete rozdeľujeme na [2]:

- FTTH (*Fiber to the Home*) – optické vlákno je privedené priamo do domu alebo bytu a je zakončené u užívateľa. Vyhodou FTTH je, že užívateľ môže mať konektivitu až 1 Gbps, čo v dnešnej dobe uspokojí potreby aj nadmerne náročného užívateľa. Tento typ siete obmedzuje dĺžku metalického vedenia na minimum, a tak isto je tzv. „efekt úzkého hrdla“ obmedzený na minimum,
- FTTB (*Fiber to the Building*) – optické vlákno je privedené do vyhradených priestorov v prízemí, alebo suterénu budovy. V týchto priestoroch je väčšinou umiestnený rozvádzač, od ktorého je konektivita ďalej zabezpečená metalickými rozvodmi, obyčajne kabelážou kategórie CAT-5 v rámci vnútornej LAN siete v priestoroch budovy. Tento tým siete je vhodný najmä pre panelové výstavby, kde je veľký počet bytových jednotiek,
- FTTC (*Fiber to the Curb*) – pri použití takejto architektúry je optické vlákno privedené k rozvádzači, umiestnenom v tesnej blízkosti účastníckych prípojok. Koncové body siete sú pripojené pomocou metalických krútených rozvodov, alebo koaxiálnych káblov. FTTC architektúra počíta s menším počtom pripojených užívateľov a s maximálnou vzdialenosťou 300m od účastníkovho rozvádzača,

- FTTN (*Fiber to the Node*) – optické vlákno je privedené k distribučnému kabinetu, kde môže byť pripojených niekoľko stoviek účastníkov z blízkeho okolia pomocou metalického vedenia alebo koaxiálnych káblov. Táto architektúra siete je často využívaná telekomunikačnými operátormi,
- FTTC (*Fiber to the Curb*) – v tomto prípade je optické vlákno privedené k obrubníku a odtiaľ sa užívatelia pripájajú pomocou medeného média alebo samostatným optickým káblom. Vzdialenosť užívateľ od ONU jednotky je asi 300m,
- FTTCab (*Fiber to the Cabinet*) – optické vlákno je pripojené do rozvádzača. Od FTTC sa odlišuje vzdialenosťou ONU od užívateľa,
- FTTO (*Fiber to the Office*) – optické vlákno je privedené priamo do kancelárie. Ide o technológiu podobnú ako pri FTTB. Optické vlákno je ukončené v budove, firme do ukončovacieho zariadenia, odkiaľ sa ostatní užívatelia pripájajú medenými médiami alebo iným spôsobom.

Ako nadvezujúce riešenie k optickému pripojeniu, ktoré slúži k pripojeniu koncových zariadení, môžeme použiť metalický ethernet, bezdrátovú sieť (WiFi, WiMAX) alebo niektorú digitálnu xDSL prípojku, najčastejšie VDSL2/2+.



Obr. 2: Architektúry FTTx. [1]

2.3. Prvky používané v ODN a špecifikácia prenosu

Nosičom informácie pri optickom prenose je žiarenie. Prenos informácií môže byť realizovaný zmenou amplitúdy, kmitočtu, fáze, polarizácie alebo dĺžky trvania žiarenia. Výhodou optického prenosu oproti prenosu pomocou elektrických impulzov je, že pri optickom prenose neutrálne fotóny na seba nepôsobia. Nevznikajú tak elektrické ani magnetické polia. Optický spoj je tvorený zdrojom žiarenia, optickým prostredím a prijímačom žiarenia. [3]

2.4. Point-to-point (P2P) a Point-to-multipoint (P2MP) optické prístupové siete

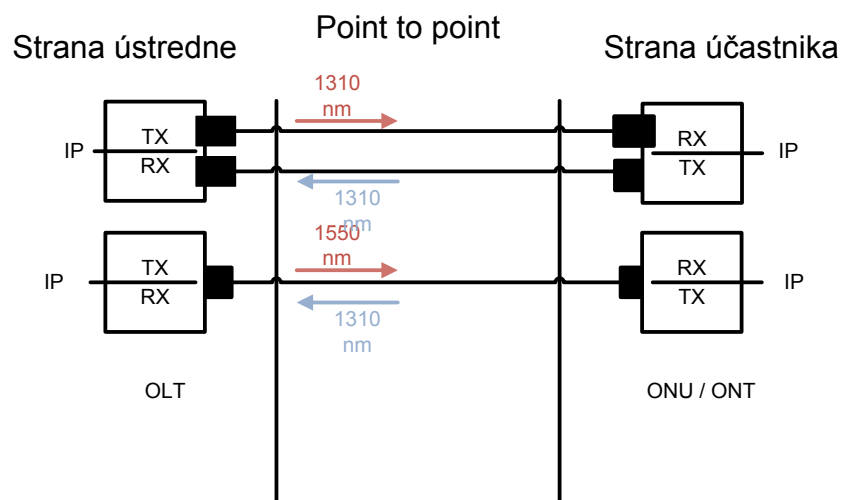
ODN môžeme rozdeliť na základe prístupových prostriedkov. Rozlišujeme dva druhy prístupových sietí používajúcich optický prenos dát:

- Point-to-point (P2P)
- Point-to-multipoint (P2MP)

Tieto siete sa ďalej rozdeľujú, ako je znázornené na schéme obr. 1. [1]

2.4.1. Siete Point-to-point (P2P)

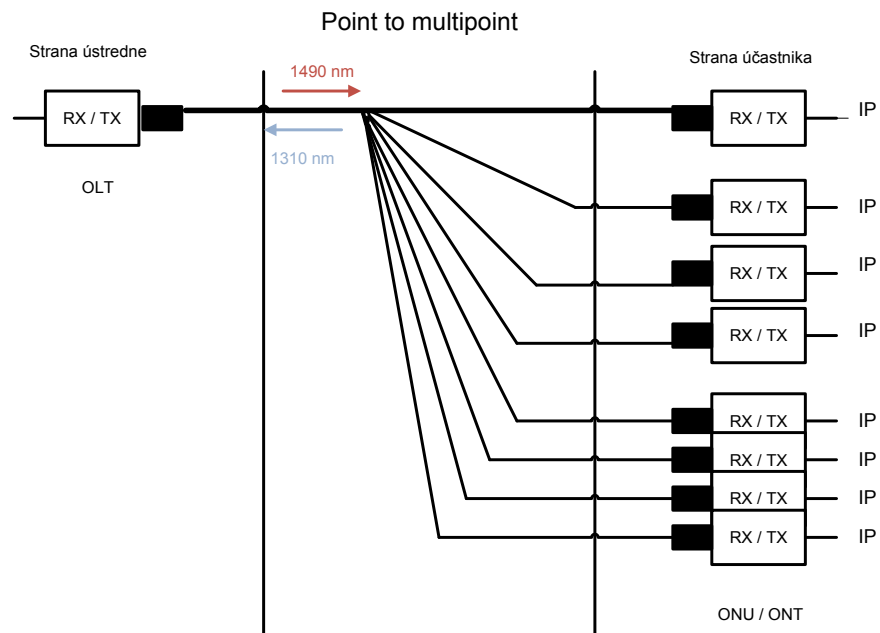
Siete P2P sú charakterizované použitím jedného optického vlákna k užívateľovi. Ide o najjednoduchšie FTTH siete. Vlákno je ukončené priamo u užívateľa a na druhej strane v centrálnej stanici kde je umiestnené OLT pre distribúovanie telekomunikačných služieb. Optické vlákno môže byť vedené priamo z OLT k užívateľovi alebo môže byť na trase umiestnení aktívni optický prepínač ktorý však potrebuje napájanie, táto sieť sa označuje ako aktívna. Tieto siete umožňujú pripojenie užívateľov aj vo vzdialenosti 80 km. U technológii point-to-point sa používajú jednovidové optické vlákna a ojedinele sa môžu použiť aj mnohovidové optické vlákna. Pre prenos z OLT k ONU (simplexný prenos) sa využíva vlnová dĺžka 1310 nm. Pre televízny signál sa využíva vlnová dĺžka 1550 nm. Pri duplexnom prenose sa používa vlnová dĺžka 1310 nm pre oba smery. Samostatné vlákno ku každému užívateľovi zabezpečuje široké prenosové pásmo vhodné pre multimediálne dáta, odlišnosť zakazníkov a jednoduchý servis. Na obrázku 2 sú znázornené príklady využívania vlnových dĺžok pre point-to-point, kde TX je vysielateľ a RX je prijímač. . [4]



Obr. 3: Point-to-point optická prístupová sieť [3].

2.4.2. Sieť Point-to-multipoint (P2MP)

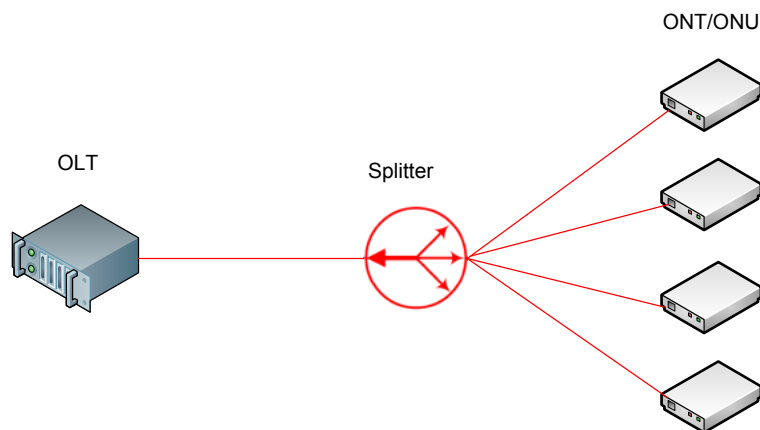
Hlavnou výhodou P2MP je možnosť znížiť počet vlákien medzi ústredňou a účastníkom. Dokážu vytvoriť obojsmerný komunikačný kanál po jednom vlákne. Poskytujú výhodu optického rozbočovania signálu k účastníkovi a optickému zlučovaniu signálov od účastníka v čisto optickú blastos bez konverzie na elektrický signál. Môže sa vytvoriť komunikačný spektrálny multiplex. Siete P2MP sú pasívne optické siete, pretože používajú pasívne prvky jako napr: pasívny rozbočovač. Na obrázku 7 môžeme vidieť topológiu P2MP spolu s vlnovými dĺžkami pri komunikácii. . [5]



Obr. 4: Point-to-multipoint optická prístupová sieť [5].

3. Pasívne optické prístupové siete PON a typy PON sietí

PON (Passive Optical Network) nepoužívajú žiadny aktívny prvok (viz. obr. 5), ale pasívny optický rozbočovač, tzv. splitter. Splitter signál neopakuje, ani nezosilňuje, len ho rozdelí v takom pomere, v akom bol skonštruovaný. Výstupné signály sú preto slabšie ako pri výstupe z aktívneho prvku. Jednotlivé varianty optických prístupových sietí PON sa odlišujú hlavne použitím protokolom na druhej (spojovej) vrstve modelu OSI a parametrami ako je prenosová rýchlosť, maximálna prekennateľná vzdialenosť a maximálny počet účastníkov v jednej sieti.



Obr. 5: Zapojenie pasívne optickej siete.

3.1. APON

APON (ATM-PON) doporučenie ITU-T G. 983 štandardizovalo prenos na základe ATM buniek, preto pomenovanie APON s rýchlosťami buď symetricky 155,52 Mbit/s, alebo nesymetricky s vyššou rýchlosťou 622,08 Mbit/s smerom k účastníkom. [6]

3.2. BPON

BPON (Broadband PON) ide o jeden zo základných PON systémov. Je zahrnuté do doporučenia ITU-T G. 983. Prenosová rýchlosť je symetrických 622,08 Mbit/s. Pri BPON sa zvyčajne používa WDM – Wave Division Multiplex. Používane vlnové dĺžky sú 1260 – 1360 nm pre vzostupný a 1480- 1500 nm pre zostupný smer. [6]

3.3. GPON

Doporučenie ITU-T G. 984 vychádza z predchádzajúceho G.983 a poskytuje nám gigabitovú variantu GPON s rýchlosťami 1,244 a 2,488 Gbit/s a až 128 účastníkov. V rámci spätnej kompatibility sú implementované prenosové rýchlosti 155,52 a 622,08 Mb/s v oboch smeroch. Vlnové dĺžky používané pre prenos: [6]

- 1480 – 1550 nm pre vzostupný smer,
- 1260 – 1360 nm pre zostupný smer.

3.4. XG-EPON

XG-EPON siete patria medzi pasívne optické siete, ktoré aspoň v jednom smere ponúkajú prenosovú kapacitu 10 Gb/s. Poznáme dva druhy XG-EPON sietí:

- symetrických 10 Gb/s v oboch smeroch,
- 10 Gb/s smerom k účastníkovi a 2,5 Gb/s smerom od účastníka.

Táto technológia je plne spätne kompatibilná s technológiou G-PON a obidve technológie môžu fungovať súčasne na jednej sieti. [7]

3.5. EPON

Je štandardom IEEE od roku 2004 ako súčasť projektu Ethernet in the First Mile a je navrhnutý pre jednoduchosť. EPON umožňuje symetrickú prenosovú rýchlosť v oboch smeroch o nominálnej hodnote 1 Gb/s. Dosahuje maximálne prenosové rýchlosti 1250 Mb/s pre oba smery prenosu a je najrozšírenejšou variantou s PONou. [7]

3.6. 10GPON

Štandard IEEE 802.3av opisuje pasívnu optickú sieť s rýchlosťmi prenosu až 10Gb/s a so spätnou kompatibilitou s technológiou EPON. Prenosové rýchlosti 10GPON: [7]

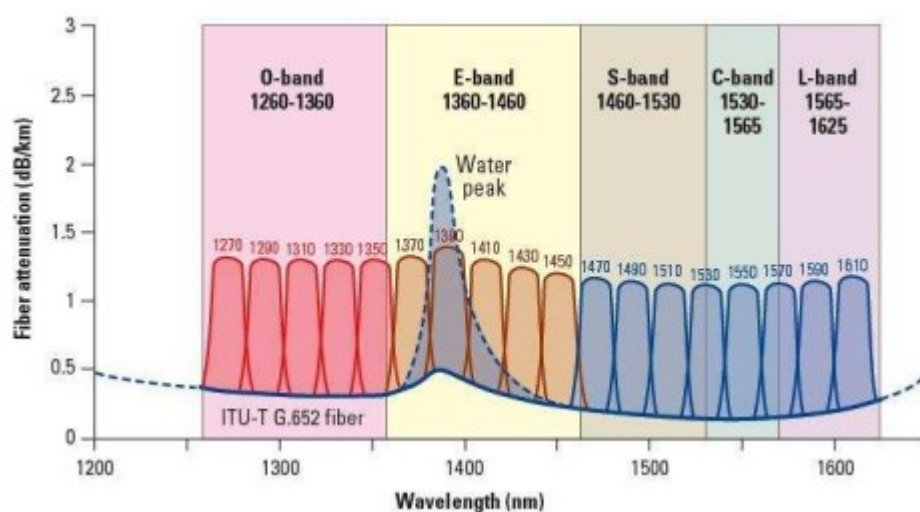
- symetrických 10 Gb/s v oboch smeroch,
- nesymetrických 10 Gb/s smerom k účastníkovi a 1Gb/s smerom do siete .

4. Optické prístupové siete WDM – PON

WDM-PON sa považuje za ďalšie evolučné riešenie pre zjednodušenie a budúce zabezpečenie prístupových systémov ktoré sa môžu prispôbiť neustále sa zvyšujúcim sa nárokom na šírku pásma novými aplikáciami. WDM-PON zmierňuje komplikované časové delenie a výkonové rozpočtové problémy v time-division- multiplexer PON(TDM-PON) poskytovaním virtuálnej dvojbodovej optickej pripojiteľnosti viacnásobným koncovým užívateľom cez vyhradený pár vlnových dĺžok. WDM-PON systémy zabezpečujú väčší dosah, vyššiu rýchlosť prenosu dát a vyššiu spektrálnu efektívnosť. WDM-PON siete umožňujú do jedného vlákna vložiť väčší počet oddelených vlnových dĺžok pomocou vlnového multiplexovania WDM. Vďaka tejto technológii sa znásobí jeho celková kapacita. Technológia WDM bola rozdelená na dve varianty CWDM a DWDM vlnového delenia podľa vzájomných odstupných dĺžok. Jej výnimočnosť spočíva v poskytovaní plnej funkcionality point-to-point optickej prístupovej siete (P2P) na infraštruktúre pasívnej optickej siete PON. Je postavená na platforme EAST 1100 od spoločnosti LG - Ericsson . Garantuje rýchlosti pripojenia 1 Gbit/s pre každého účastníka v okruhu 100km

4.1. Princípy WDM – PON

Technológia vlnového delenia WDM umožňuje paralelne prenášať po jednom optickom vlákne niekoľko navzájom oddelených vlnových dĺžok a tým znásobí jeho celkovú kapacitu. Technológia WDM bola teoreticky navrhnutá už v roku 1970, v roku 1978 prebehol prvý prenos so súčasným využitím dvoch vlnových dĺžok v laboratorných podmienkach. Postupne došlo vďaka štandardizácii ITU-T (ITU-T G. 694.2) k jednotnému určeniu vlnových dĺžok pre realizáciu vlnového delenia a došlo taktiež k rozdeleniu na variantu hrubého CWDM (Coarse WDM) a hustého DWDM (Dense WDM) vlnového delenia podľa vzájomného odstuhu vlnových dĺžok.



Obr. 6: Kanály CWDM definované podľa ITU-T G. 694.2. [19]

Pre hrubé vlnové delenie CWDM byly definované jednotlivé kanály s prvou nosnou 1270 nm a poslednou 1610 nm, s odstupom medzi jednotlivými nosnými 20 nm a toleranciou nosnej $\pm 6,5$ nm. Väčšia rozteč kanálov a dodatočná tolerancia je nutná z dôvodu použitia obecné menej kvalitných optických zdrojov v optických prístupových sieťach a závislosti vysielania vlnovej dĺžky na teplote. Pre štandardné jednovidové vlákno 9/125 μm je definovaných 18 kanálov [8] rozdelených do nasledujúcich pásiem:

- Pásmo O (*Original*) – vlnové dĺžky 1260-1360 nm, nosné číslo 1-5
- Pásmo E (*Extended*) – vlnové dĺžky 1360- 1460 nm, nosné číslo 6-10
- Pásmo S (*Short*) - vlnové dĺžky 1460- 1530 nm, nosné číslo 11-14
- Pásmo C (*Conventional*) - vlnové dĺžky 1530- 1565 nm, nosné číslo 15
- Pásmo L (*Long*) - vlnové dĺžky 1565- 1625 nm, nosné číslo 16-18

Varianta DWDM využíva menšiu rozteč medzi jednotlivými kanálmi a potrebuje podstatne nižšiu toleranciu vlnovej dĺžky jednotlivých nosných. Tým pádom dovoľuje v rovnakom pásme umiestniť väčší počet vlnových dĺžok, typicky 32, 64 a perspektívne až 160 v jednom uvažovanom pásme. Pre použitie hustého vlnového multiplexiu sú však nutné aktívne c hladené optické zdroje (najčastejšie lasery typu DFB – Distributed Feedback Laser) a celkové náklady na realizáciu sú tak oveľa vyššie ako to je v prípade CWDM. Pre využitie v pasívnych optických prístupových sieťach sa pre použitie vlnového delenia DWDM uvažuje o pásmach C a L s roztečou jednotlivých nosných cca 0,8 nm, čo by umožnilo prenos 32 až 80 vlnových dĺžok. Pre diaľkové a chrbticové optické spoje potom pásma C, L a S z roztečou nosných cca 0,4 nm a použitím 80 až 160 nosných v jednom vlákne. Existujú už ale aj teoretické štúdie pre zavedenie ultra jemného vlnového delenia UDWDM (Ultra -Dense WDM) [9]

Tab. 1: Porovnanie technológií WDM.

Aplikácia/parameter	CWDM – metropolitný prístup	DWDM – metropolitná, regionálna sieť	DWDM – diaľkové spoje
Kanály na vlákno	4-16	32-80	80-160
Použitie spektrum	pásmo O,E,S,C,L	pásmo C,L	pásmo C,L,S
Vzdialenosť medzi kanálmi	20 nm (2500GHz)	0,8 nm (100GHz)	0,4 nm (50GHz)
Kapacita vlnovej dĺžky	1,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10-40 Gbit/s
Kapacita vlákna	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	Tbit/s
Typ laseru	Nechladený DFB (Distributed-Feedback Laser)	chladený DFB	chladený DFB
Dosah	do 50-80 km	stovky km	tisíce km
Optický zosilovač	žiadny	EDFA	EDFA, Raman

4.2. Výhody a nevýhody WDM – PON

4.2.1. WDM-PON ponúka nasledujúce výhody

- Spôsob distribúcie optického signálu je stále pasívny, takže má rovnako nízke nároky na údržbu a vysokú spoľahlivosť ako PS-PON,
- Každý účastník prijíma vlastnú vlnovú dĺžku, preto WDM-PON ponúka vynikajúcu ochranu súkromia,
- P2P spojenia medzi OLT a ONU sú nadviazané na základe vlnových dĺžok, preto nie je potrebný P2MP protokol pre riadenie prístupu k médiu, čo značne uľahčuje MAC vrstvu. Neexistujú tak žiadne obmedzenia prekenuťelnej vzdialenosti z dôvodu rozsahu alebo DBA,
- Jednoduché spoplatnenie pri povýšení služby. V PS-PON sieťach znamená zvýšenie rýchlosti OLT to, že všetky ONU musia byť upgradované naraz. Takýto problém vo WDM-PON nenastáva. Každá vlnová dĺžka vo WDM-PON môže pracovať s rozličnou rýchlosťou a takisto s rôznym protokolom. Jednotliví účastníci preto platia len za svoje zvýšenie kvality služby, resp. zvýšenie rýchlosti pripojenia WDM – PON výzvy . [10]

4.2.2. Nevýhody WDM-PON zahrnujú

- Vysoké náklady na WDM komponenty. V posledných rokoch však cena týchto komponent značne klesla, čo spravilo technológiu WDM-PON ekonomicky dostupnejšou. Ako príklad môžeme uviesť Korean Telecom, ktorý už začal s testovaním WDM-PON. Záujem o štandardizáciu WDM-PON zahrňuje v posledných dňoch aj norma ITU-T SG15
- Kontrola a udržiavanie teploty. Vlnové dĺžky WDM komponentov majú tendenciu meniť teplotu okolia. Udržiavanie správnej teploty znamená nároky na energiu a vyžaduje aktívne elektronické súčiastky v optickej distribučnej sieti. Pri odstraňovaní potreby kontroly a regulácie teploty boli podniknuté obrovské kroky v oblasti produkcie atermálnych WDM komponentov a systémov, na ktoré nemá teplota vplyv,
- ONU pre viacero vlnových dĺžok. Vo WDM-PON potrebuje každá ONU jednotka rozličnú vlnovú dĺžku pre odchádzajúce spojenie. Toto znamená celkom závažný prevádzkový a ekonomický problém. ONU pre určité vlnové dĺžky spôsobujú značné problémy pri spravovaní liniek, skladovaní zásob týchto jednotiek, hospodárnosti a údržbe. V posledných 20 rokoch bolo vyvinutých niekoľko riešení ako produkovať ONU, ktoré nebudú závislé na vlnovej dĺžke. [10]

4.3. Varianty realizácie WDM – PON

Pre použitie vlnového delenia v PON sieťach sa uchitilo pomenovanie WDM-PON a boli riešené niektoré podstatné body a možné varianty prevedenia: [9]

- pasívne optické rozbočovače s pevnými vlnovými filtrami,
- optické rozbočovače s funkciou voliteľného smerovania vlnových dĺžok,
- jedná vlnová dĺžka vyhradená pre vysielanie ku všetkým staniciam (broadcast) ostatné rozdelené medzi zbývajúce koncové jednotky ONU/ONT,
- jedná zdieľaná vlnová dĺžka pre vzostupný smer pre všetky koncové jednotky a individuálne vlnové dĺžky pre koncové jednotky ONU/ONT v zostupnom smere,
- jednoduchá stromová topológia s pevnými vlnovými dĺžkami ,
- kaskádne rozloženie vlnových dĺžok (transformácia vlnových dĺžok v optických rozbočovačoch),
- pevne priradené vlnové dĺžky koncovým jednotkám ONU/ONT,
- voliteľné vlnové dĺžky pre koncové jednotky ONU/ONT,
- použitie iba u pasívnych prvkov v optickej distribučnej sieti, alebo zariadení zosilňovačou.

Niektoré návrhy boli ďalej teoreticky rozpracované a zverejnené. Tak ako aj v mnohých iných oblastiach zvíťazila otázka financií, teda pomer celkových nákladov a poskytovaná prenosová kapacita na jedného užívateľa a do ďalšieho štádia výskumu boli vybrané nasledujúce tri varianty.

4.3.1. Varianta WDM-PON s pevne priradenými individualnými vlnovými dĺžkami.

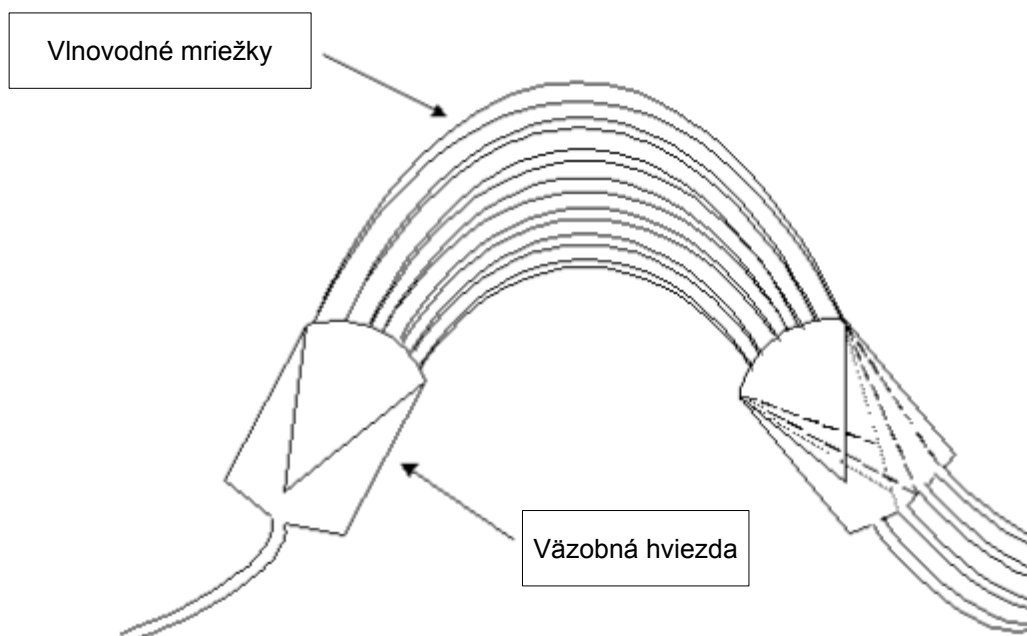
Prvá varianta WDM-PON počíta iba s pevne pridelenými vlnovými dĺžkami individuálne všetkým koncovým jednotkám ONU/ONT. Napríklad pri pripojení 16 koncových jednotiek do optickej prístupovej siete, bude v zostupnom smere použité vlnové dĺžky λ_1 - λ_{16} (na obr. 9 iba dve ONU). Pasívny rozbočovač rovnako ako v súčasných generáciách GPONa EPON vykoná iba rozdelenie optického signálu do všetkých odchádzajúcich smerov, každá optická jednotka teda obdrží optický signál na všetkých vlnových dĺžkach λ_1 - λ_{16} a pomocou pevne nastaveného vlnového filtra vydolí svoju určenú nosnú vlnovú dĺžku.

V zostupnom smere bude mať každá koncová jednotka svoju individuálnu vysielaciu vlnovú dĺžku zo súboru λ_{17} - λ_{32} , na ktorej bude odosielať odchádzajúce dátové toky. Ide o súbor prípojok typu bod-bod, komunikácie každej koncovej jednotky ONU/ONT s jednotkou OLT bude prebiehať na individuálne vyhradených vlnových dĺžkach.

4.3.2. Varianta WDM-PON s využitím smerovej odbočnice typu AWG

Ako druhá možnosť sa nám vynára využitie smerových odbočnic na báze vydeľovania vlnových dĺžok pomocou metódy AWG(Arrayed Waveguide Grating). V klesajúcom smere zo strany jednotky OLT prichádza optický signál vo forme vlnového multiplexu nosných pre jednotlivé koncové jednotky ONU/ONT. Pomocou AWG smerovej odbočnice sú vydelené jednotlivé vlnové dĺžky do určených smerov a ku koncovým jednotkám sa ďalej šíria nosné v klesajúcom smere v separovaných vláknach na tej istej vlnovej dĺžke. V zostupnom smere ostáva princíp rovnaký ako v predchádzajúcom prípade.

Metóda AWG umožňuje jednoduché pasívne vydeľovanie prenášanej vlnovej dĺžky a odbočovať ich do všetkých výstupov vo forme jednotnej vlnovej nosnej. Prináša zníženie vložného útlmu, typická hodnota sa pohybuje okolo 5dB nezávisle na počte odchádzajúcich smerov a použitých vlnových dĺžok. Odstránenie pasívneho WDM filtra na vstupe koncovkej jednotky.



Obr. 7: Kanály CWDM definované podľa ITU-T G. 694.2.

4.4. Hybridné PON

Ako hybridné PON sa označujú kombinácia WDM-TDMA PON, teda súčasná kombinácia zdieľania prístupu pomocou vlnového aj časového delenia v jednej pasívnej optickej sieti. Najjednoduchšou variantou je kaskádna, kde sa dá pozerat' na celkovú štruktúru ako sa súbor niekoľko vzájomne nezávislých (prekryvaných) sietí s časovým delením, kde každá pasívna optická sieť využíva svoju dvojicu pridelených vlnových dĺžok pre obojsmerný prenos realizovaný pomocou časového delenia TDMA a 16 koncovými jednotkami ONU/ONT zdieľajúcimi spoločné vždy dvojicu nosných, čo znamená celkový počet $8 \times 16 = 128$ pripojených koncových jednotiek.

5. Triple Play

Triple Play je služba, v ktorej sú zahrnuté ďalšie služby, ako prenos videí, dát a hlasu prostredníctvom širokopásmového pripojenia. Zavádzanie a rozšírenie širokopásmových prístupových sietí pre účastníkov je revolučným riešením pre poskytovanie datových a hlasových služieb ako aj poskytovanie video služieb, vrátane IPTV, video telefonovanie, video na vyžiadanie (video on demand) a hranie online hier. Inak povedané to znamená viac služieb, viac zariadení ale jedná sieť od jedného dodávateľa a jeden účet. Poskytovatelia týchto služieb ponúkajú celé balíčky, alebo jednotlivé služby.

5.1. IPTV

IPTV (*Internet Protocol Television*) alebo televízia cez internetový protokol je jedným zo spôsobov, ako koncovému užívateľovi doručiť televízny signál a to digitálne a v čo najvyššej kvalite. Pre šírenie sa používajú počítačové siete založené na IP protokolu. IPTV je často poskytovaná spoločne s poskytovaním internetu, prípadne tiež so službou VoIP. Spojenie týchto troch služieb je často označované ako triple-play. Zjednodušene povedané, k zákazníkovi je privedený jeden datový kabeľ, ktorý následne užívateľovi zaisťuje komunikáciu s okolím. Obrazová aj zvuková kvalita takto šírených televíznych staníc je ako u vysielania cez DVB-T alebo DVB-S. V porovnaní so súčasnou ponukou DVB-T môže IPTV ponúknuť väčší počet televíznych staníc a vyššie dátové toky. Navyše oproti bežným DVB-T set-top boxom, sú prijímače IPTV väčšinou jednoducho upgradovateľné a prechod z jedného kódovania na druhé (napr. z MPEG-2 na H.264) nespôsobuje žiadne problémy. Vďaka tomuto má IPTV do budúcnosti dobrý potenciál na šírenie televízie v HD rozlíšení.

Televízny obraz sa v IPTV šíri pomocou datových tokov z jedného centralného miesta streamovacieho serveru. Dátový tok pomenujeme stream. Aby tieto streamy dokázali zachovať prenášanú informáciu v dostatočnej kvalite bez výrazných strát, majú nezanedbateľné nároky na sieťovú priepustnosť. Obecne môžeme povedať, že jeden obrazový stream v bežnej kvalite PAL si žiada prenosovú rýchlosť linky aspoň 4Mbps pri použití kódovania MPEG-2, stream v HD rozlíšení potom cca. 7 - 10 Mbps v kódovaní H.264. Každý stream má ale odlišné nároky, nakoľko do hry vstupuje otázka použitého rozlíšenia, nárokov na kvalitu prenášaných dát, použitého kódovania apod.

5.2. VoIP – Telefonovanie cez Internet

VoIP (*Voice over Internet Protocol*) je ďalšou dvôležitou službou, pomocou ktorej môžeme telefonovať cez internet. Predstavuje hlasovú službu na prenos hlasu prostredníctvom dátových sietí. Na jednej strane dátovej cesty (u jedného používateľa) sa hlas zdigitalizuje, komprimuje a konvertuje na dátové pakety, a na druhej strane sa spätným procesom z paketov vyrobí pôvodná hlasová stopa. Jednotlivé pakety sa prenášajú prostredníctvom internetového protokolu IP. Prenos hlasu za pomoci technológie VoIP je cenovo výhodnejší v porovnaní s klasickou technológiou (PSTN), preto je atraktívna najmä pre firemných ale aj domácich používateľov. VoIP patrí medzi najdôležitejšie služby, na ktoré sa sústreďujú poskytovatelia.

5.2.1. VoIP – požiadavky na prenos paketov

Pri VoIP rozlišujeme dva druhy paketov, pakety signalizácie a pakety obsahujúce užívateľské data najčastejšie hlasové vzory. Pre prenos signalizácie rozlišujeme dva druhy protokolov SIP a H.323.

Pre protokol H.323 sa používa prenos signalizácie protokolom transportnej vrstvy modelu OSI nazývaný TCP a tento protokol v prípade straty paketou zabezpečuje doručenie správy opakovaným prenosom. Protokol SIP nám dáva možnosť použiť jeden z nasledujúcich dvoch protokolov na úrovni transportnej vrstvy UDP alebo TCP. Protokol UDP narozdiel od protokolu TCP nám nezaručuje doručenie dát, SIP preto definuje opakované odosielanie správ v prípade neobdržania odpovede. Straty sa vtedy v oboch prípadoch prejavia vyšším oneskorením prenosu ale s výnimkou poruchy na spoji je doručenie správy zaručené. SIP taktiež umožňuje použiť protokol Transport Layer Protocol (TLS), ktorý zaisťuje zabezpečenie signalizačných dát.

Pre pakety hlasu sa však vynárajú skutočné problémy. Tieto pakety sú prenášané pomocou protokolu UDP na úrovni transportnej vrstvy OSI modelu a pomocou protokolu RTP na úrovni relačnej vrstvy. UDP protokol zaisťuje iba možnosť adresovať konkrétne aplikácie v rámci sieťovej IP adresy a integritu prenášaných dát za pomoci kontrolného súčtu. Každý hlasový paket sa môže stratiť alebo môže byť viackrát doručený. Protokol RTP zabezpečuje služby špecifické pre prenos hlasových alebo video vzorkov, prenáša informácie o type vzorku, časové údaje, údaje o poradí a vzorky samotné. Straty paketov nie sú riešené ani jedným z týchto protokolov. Aby sme dosiahli vysokú kvalitu hovoru musia byť pakety doručené bez strát, s nízkym oneskorením (latency) a s nízkou variabilitou oneskorenia (jitter). [11]

5.3. VoD

VoD(Video on Demand) je služba alebo skôr systém, ktorý umožňuje užívateľovi na základe jeho vyžiadania (Demand) sťahovať a prehrávať video nahrávky, filmy a relácie a to v čase kedy má o to užívateľ záujem a nie v čase kedy je film alebo relácia vysielaná v realnom čase. Najčastejšie sa využíva formát MPEG-2 a MPEG-4.

5.4. Kvalita služieb QoS

Aplikácie, ktoré slúžia pre prenos hlasu, videa a dát potrebujú na prenos väčšiu šírku pásma a sú citlivé na oneskorenie a stratu paketov. Ak nastane prekročenie týchto parametrov aplikácia sa stáva nepoužiteľná. Kvalita služieb QoS je súbor opatrení, ktoré zaistia určitý stupeň uspokojenia koncového užívateľa. Zaistuje pridelenie prostriedkov používanej siete pri prenose dát a predovšetkým spravodlivo rozdeľuje nastavenie parametrov pre jednotlivé služby, tým zabráni preťaženiu a zahlteniu siete. Pri prenose dát sa môže vyskytnúť viacero možných príčin problémov smerom od odosielateľa k príjemcovy. Hovoríme o oneskorení (latency), zmene poradia paketov (packet order), kolísanie oneskorenia (jitter) a stratu paketov (packet loss).

5.5. Jitter

Kolísanie oneskorenia doručenia paketov je spôsobené zmenou stavu v sieti. Vďaka väčšiemu počtu paketov vo vyrovnávacej pamäti sa môže oneskorenie zväčšiť. Taktiež odlišná cesta prenosu paketov po sieti môže zapríčiniť dĺžku oneskorenia. Jitter má veľký dopad napríklad na službu VoIP. Pri posielaní paketov v 20 ms intervaloch sa na druhej strane taktiež očakávajú príchody v daných intervaloch. To však nemusí byť vždy tak kvôli dynamickým zmenám zaťaženia v sieti. Oneskorený paket by narušil časový sled paketov, takže spracovanie takéhoto paketu sa neuskutoční a paket sa považuje za stratený. Tento problém je riešený vyrovnávacími pamäťami v telefónoch alebo bránach.

5.6. Latency

Latency (oneskorenie) je čas, ktorý ubehne od odosielania správy zdrojovým uzlom do jej prijatia na uzlu cieľovom, zahŕňa oneskorenie na prenosovej trase a na zariadeniach, ktoré sú jej súčasťou. Toto oneskorenie je tvorené z viacerých čiastkových oneskorení:

- Oneskorenie pri prenose (odvodené od rýchlosti šírenia signálu a vzdialenosti),
- Oneskorenie zapríčinené čakaním na fronte sieťového uzla,
- Oneskorenie pri prepínaní (nájdanie ďalšej cesty v sieti),
- Oneskorenie kódovaním a serializáciou (príprava paketov na prenos).

5.7. Packet order

Packet order (zmena poradia paketov) je priamým dôsledkom existencie oneskorenia a princípami individuálneho smerovania každého paketu.

5.8. Packet loss

Packet loss (stráta paketov) je priemerný počet stratených paketov za určité obdobie vyjadrené v percentách vzhľadom k celkovému počtu prenášaných paketov. K strate paketov v sieti dochádza z viacerých príčin. Jednou z nich sú hardwarové chyby v sieťových uzloch alebo rušenie na prenosovom médiu. Druhou a aj častejšou chybou sa môžeme stretnúť so stratou paketov zapríčinenou stavom v sieti. Teda zahltením sieťového uzla, kedy smerovače alebo prepínače nestíhajú odbavovať prichádzajúce pakety dostatočne rýchlo. Rady vo vyrovnávacích pamätiach sa preplnia a ďalšie prichádzajúce pakety sú zahodené. Za stratený paket sa tiež považuje paket, ktorý je doručený s väčším oneskorením ako je požadované a jeho obsah už je pre danú aplikáciu/službu neaktuálny.



Obr. 8: Príklad poškodenia obrazu.

5.9. RFC 2544

RFC 2544 je štandard ustanovený IETF. Je to v podstate metodológia, ktorá načrtáva testy odporúčané na meranie a overovanie výkonnostných kritérií pre nosné Ethernetové siete. Štandard ponúka záťažovú metodológiu vykonávanú mimo prevádzku služby na ohodnotenie výkonu sieťových zariadení používajúc testy na priepustnosť, back-to-back, stratovosť rámcov a oneskorenie, pričom každý test ohodnocuje špecifickú časť SLA. Táto metodológia definuje veľkosť rámca, trvanie testu a počet vykonaných testov. Keď sú tieto testy ukončené, poskytujú hodnoty výkonu testovanej Ethernetovej siete.

Testa RFC 2544 vykonávame za účelom uistenia, že Ethernetová sieť je schopná podporovať rozličné služby (ako napríklad VoIP, IPTV apod.), RFC 2544 sada podporuje sedem preddefinovaných veľkostí rámcov (64, 128, 256, 512, 1024, 1280 a 1518 bytov), aby dokázala simulovať rozličné podmienky premávky na sieti. Rámce s malou veľkosťou zvyšujú počet prenesených rámcov, čím zaťažujú sieťové prvky, ktoré tak musia prepínať veľké množstvo rámcov. [13]

5.10. ITU-T EtherSAM

Ether SAM je metodológia na aktiváciu Ethernetových liniek. [14]

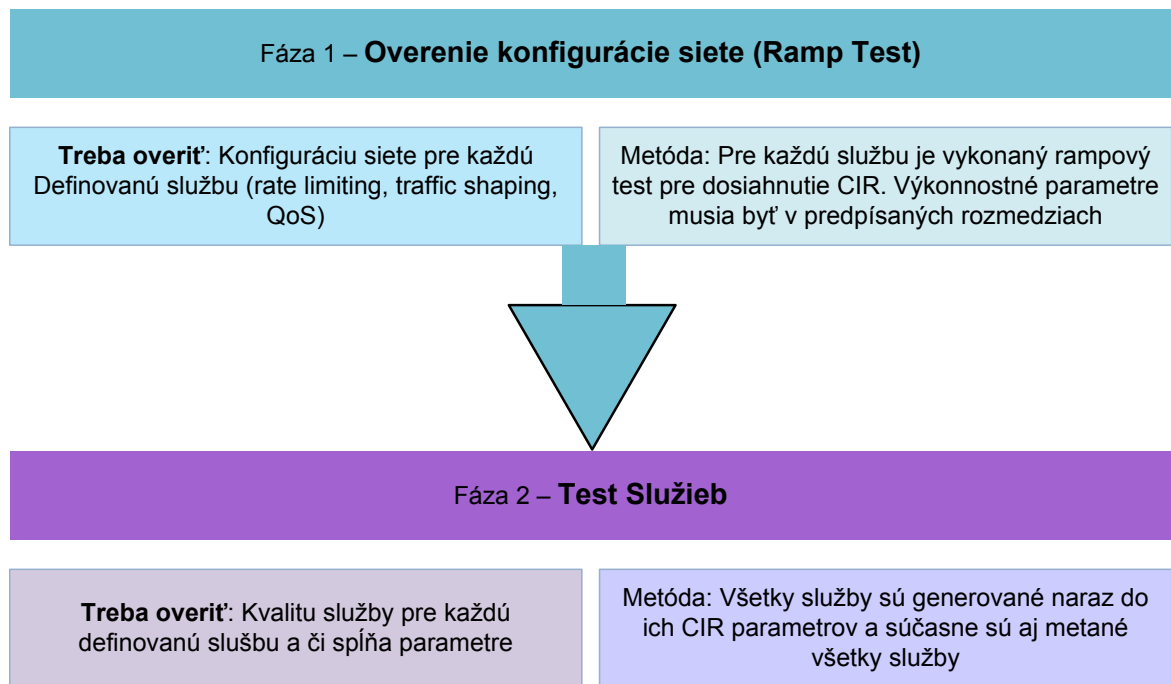
- Návrh ITU-T číslo Y.156sam -> Y.1564,

Je nový štandard pre testovanie Ethernetových služieb (Nahrádza RFC2544).

- Použiteľné pre aktiváciu služieb a troubleshooting Komerčných Ethernetových služieb, Ethernetových Mobile Backhaul služieb, predaj ethernetových liniek

Hlavné funkcionality.

- Metodológia pre overenie kľúčových výkonnostných parametrov služieb založených na ethernete
 - Kontrola konfigurácie každej definovanej služby
 - Overenie kvality služieb ako je definované v SLA



Obr. 9: EtherSAM fázy postupu.

5.10.1. EtherSAM výhody

- Metodológia kompletne určená pre dnešné ethernetové technológie:
 - overuje všetky kľúčové SLA parametre,
 - priepustnosť, strata rámcov, oneskorenie, jitter, Out-of-Sequence pre viaceré služby.
- Test je omnoho rýchlejší ako RFC2544.
- Obojsmerné výsledky merania pre všetky služby (pri Dual Test Set).
- Test sa dá použiť aj ako Long-Term.
- Založené na štandarde ITU-T Y.1564.

5.10.2. EtherSAM výhody pri meraní

- Overí komplet SLA s jedným testom.
- Overí QoS.
- Aktivácia je 8x rýchlejšia ako pri RFC2544 (pri stýroch tried služieb).
- Zníženie OPEXových nákladov.
- Dôverihodnosť, keď čelíte koncovému zákazníkovi.

6. Metodika merania kvality obrazu a video signálu

6.1. Subjektívne metódy merania kvality

Za pomoci užívateľov – divákov, ktorý pozorujú obraz alebo video realizujeme subjektívnu metódu merania kvality obrazu a video signálu. Na vyhodnotenie kvality obrazu, video signálu existujú určité odporúčania napr: ITU-T P.910. Subjektívne meranie kvality obrazu a video signálu je založené na ľudskom faktore vnímania. Výhodou tohoto merania je, že človek dokáže popísať obraz na základe skutočnosti a vďaka tomu dochádza k obmedzeniu informácií nepostrehnuteľných ľudským okom. Subjektívne meranie je ovplyvnené množstvom faktorov a je zložité vďaka nim vykonať opakované subjektívne meranie. Aby sme získali presnejší výsledok subjektívneho merania kvality musíme toto meranie mnohonásobne zopakovať ale už v iných častiach obrazu alebo videa. Metódy pre subjektívne meranie sú: MOS, DSCQS, DSIS a ACR. [15]

- MOS (Mean Opinion Score) hodnotenie kvality videa založené na skupine ľudí, ktorá bude hodnotiť kvalitu video signálu na základe danej 5 bodovej stupnice. Najskôr sa zostaví zostrih krátkych videí určených pre test, a potom sa môže začať testovať. Výsledná hodnota MOS sa vypočíta ako priemerná hodnota nameraných výsledkov,

$$MOS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^5 i \cdot p(i), \quad (1)$$

kde: i je stupeň poškodenia (viz tab. 1), $p(i)$ je číselnosť stupňa a N je počet hodnotení daného snímku. Hodnotenie sa zapisuje do formulára k stupnici, ktorá je rozdelená podľa tabuľky 1. V databáze snímkov je následne výsledok prevedený na spojitú stupnicu od 0 do 100, kde 0 odpovedá najlepšej kvalite a 100 kvalite najhoršej.

Tab. 2: Bodová stupnica kvality obrazu / video signálu.

Hodnoty	DSCQS - kvalita	DSIS – zhoršenie kvality
5	Vynikajúce	Nevnímateľné
4	Dobré	Vnímateľné, neruší
3	Dostačujúce	Vnímateľné, mierne ruší
2	Zle	Rušivé
1	Nevyhovujúce	Veľmi rušivé

- ACR (Absolute category rating) táto metóda hodnotenia je založená na princípe hodnotenia obrazov alebo sekvencie obrazov. Divák ohodnotí kvalitu obrazu na základe 5 bodovej stupnice a mal by svoje rozhodnutie povedať do 10 sekúnd,
- DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale) ide o metódu hodnotenia dvojice sekvencií a to referenčná a testovacia. Test prebieha v čase 8 až 10 sekúnd a obrazy sa vyberajú v náhodnom poradí. Divák hodnotí kvalitu na základe stupnice v rozsahu 0 až 100 a mala by byť vybavená slovami označujúcimi kvalitu,
- DSIS (Double Stimulus Impairment Scale) – metóda je vhodná pre hodnotenie komprimačných systémov alebo vplyvu prenosovej cesty na poškodenie obrazu.



Obr. 10: Stupnica kvality používaná u metódy DSCQS.

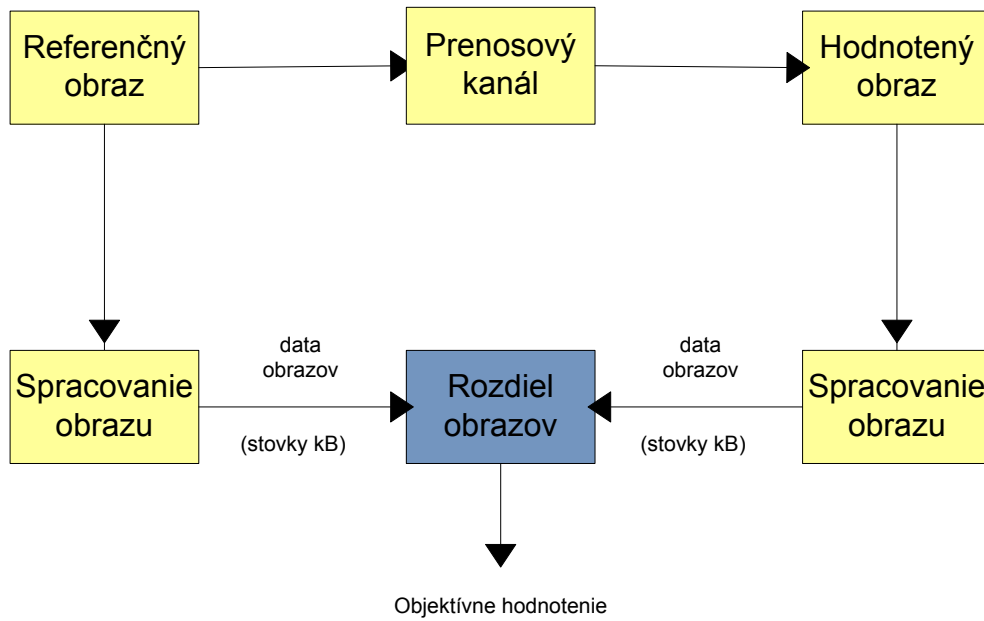
6.2. HVS model ľudského vnímania

Na základe subjektívnych testov a výskumu vlastností modelu ľudského videnia HVS (Human Visual System) v Sarnoff Research Center bola stanovená objektívna metrika pre hodnotenie kvality obrazu JND (Just Noticeable Difference), ktorá je nezávislá na charaktere testovacích obrazov a druhu ich skreslenia. Definícia jednej jednotky JND spočíva vo vyhodnotení 75 % pravdepodobnosti, že pozorovateľ nedokáže rozlíšiť rozdiel medzi dvoma obrazmi, ktoré vidí niekoľkokrát a opakovane po sebe. [15]

Výsledkom hodnotenia je porovnanie rozdielových metrík referenčného a hodnoteného obrazu. Vyhodnotenie prebieha zvlášť pre chrominanční a luminančné vzorky s následným štatistickým združením výsledkov v celkovú JND metriku. [15]

6.3. Objektívne meranie kvality obrazu a video signálu

Táto metóda používa k určeniu kvality obrazu a video signálu matematické výpočty. Objektívna metóda je rýchlejšia a lacnejšia oproti subjektívnej metóde. Kvalita video signálu sa testuje na základe obrazových snímok s komprimovanou verziou a degradovanou kvalitou signálu. Medzi objektívne merania kvality sa zaraďujú MSE, PSNR, MDI, MPQM a ďalšie.



Obr. 11: Objektívna metóda hodnotenia vzájomných rozdielov obrazov.

6.3.1. Metódy objektívneho merania kvality obrazu

Predpokladáme, že hodnotený obraz $f'(i, j)$ a originálny obraz $f(i, j)$ majú rozmer $N \times M$ obrazových bodov. Objektívne kritéria hodnotenia kvality obrazu môžeme potom vyjadriť jednou z nasledujúcich veličín (obrazových metrik): *MSE* (Mean Square Error), *PSNR* (Peak Signal to Noise Ratio), *NMSE* (Normalized Mean Square Error), *MAE* (Mean Absolute Error), *SNR* (Signal to Noise Ratio), *NAE* (Normalized Absolute Error), *NC* (Normalized Correlation), *AD* (Average Difference), *MD* (Maximum Difference), *SC* (Structural Content) a ďalšie. Podľa doporučeniu ITU-R pre objektívne hodnotenie kvality obrazu používame najčastejšie MSE [-], SNR [dB], NMSE [-] a PSNR [dB]. [15]

MSE (Mean Square Error) reprezentuje strednú kvadratickú odchylku prijatého video signálu od pôvodného. Je jedným z mnoho spôsobov ako vyčíslit' rozdiely medzi hodnotami vyplivajúcich z odhadu a skutočnosti.

- stredná kvadratická chyba MSE

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - \hat{f}(i,j)]^2, \quad (1)$$

PSNR (Peak signal-to-nois ratio) patrí medzi najpoužívanéjšie objektívne meranie kvality. Najčastejšie sa používa ako meradlo kvality strátovej kompresie kodekov. V tomto prípade je signál pôvodné data a hluk je chyba. Objektívne meranie kvality obrazu PSNR predstavuje pomer medzi najvyššou hodnotou signálu voči MSE a udávaná je v decibelech. Typická hodnota PSNR pre komprimované obrázky je medzi 30 až 40 dB.

- špičkový pomer signál šum PSNR

$$PSNR = 10 \log \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} = 20 \log \frac{(2^n - 1)^2}{RMSE}, \quad (2)$$

- normalizovaná stredná kvadratická chyba NMSE

$$NMSE = \frac{MSE}{\sigma^2} = \frac{1}{MN\sigma^2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - \hat{f}(i,j)]^2, \quad (3)$$

- pomer signál šum

$$SNR = 10 \log \frac{\sigma^2}{MSE} = -10 \log NMSE, \quad (4)$$

- normalizovaná stredná kvadratická chyba NRMSE

$$NRMSE = \frac{1}{MN\sigma} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - \hat{f}(i,j)]^2}, \quad (5)$$

- stredná absolútna chyba MAE

$$MAE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |f(i,j) - \hat{f}(i,j)|, \quad (6)$$

- normalizovaná absolútna chyba NAE

$$NAE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - f'(i,j)]}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j)]^2}, \quad (7)$$

- NC normalizovaná korekcia

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) \cdot f'(i,j)]}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j)]^2}, \quad (8)$$

- AD priemerná odchylka

$$AD = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - f'(i,j)], \quad (10)$$

- MD maximálna odchylka

$$MD = \text{Max}(|f(i,j) - f'(i,j)|), \quad (11)$$

- SC štruktúrny obsah

$$SC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j)]^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f'(i,j)]^2}, \quad (12)$$

6.4. SSIM Structural Similarity Index

SSIM index vyhodnocuje kvalitu poškodeného obrazu lokálnym porovnaním korekcie v jasu, kontrastu a štruktúre medzi referenčným a poškodeným obrazom a následným priemerovaním týchto hodnôt pre celý obraz. Návrh tejto metódy bol inšpirovaný funkciou ľudského zrakového systému (human visual systém HVS). Vzhľadom k tomu, že väčšina obrazov je určená k sledovaniu ľudským okom, použitie tejto metriky v návrhu algoritmu pre spracovanie obrazu automaticky berie do úvahy vlastnosti HVS.

Všeobecný tvar metriky, ktorý sa používa k meraniu štruktúrnej podobnosti medzi dvoma obrazkovými signálmi x a y má tvar:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma, \quad (14)$$

kde: $l(x, y)$ porovnáva jas signálu, $c(x, y)$ porovnáva kontrast signálu a $s(x, y)$ meria štruktúrnu korekciu signálu. Vypočítajú sa z následných vzťahov (15), (16) a (17).

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}, \quad (15)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}, \quad (16)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}, \quad (17)$$

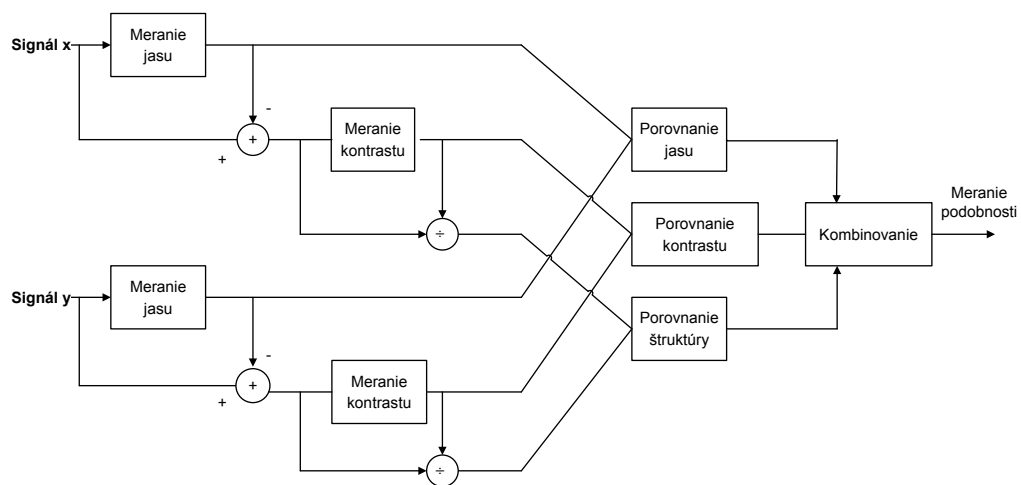
Veličiny μ_x, μ_y sú stredné hodnoty vzorkov signálu x a y , ktoré sa vypočítajú podľa vzťahu:

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad \mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \quad (18)$$

σ_x^2 a σ_y^2 sú rozptyly a σ_{xy} je vzájomná kovariancia medzi signálmi x a y .

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2 \right)}, \quad \sigma_y = \sqrt{\left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2 \right)}, \quad (19)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y), \quad (20)$$



Obr. 12: Bloková schéma pre výpočet metriky SSIM

Konštanty C_1 , C_2 , C_3 sa používajú pre stabilizáciu metriky pre prípad, že stredné hodnoty rozptylu sú veľmi malé. Parametry $\alpha > 0$, $\beta > 0$ a $\gamma > 0$ sa používajú pre nastavenie relatívnej dôležitosti troch zložiek metriky. Tieto zložky sú relatívne na sebe nezávislé, čo znamená, že napr. zmena jasu alebo kontrastu má malý vplyv na štruktúru obrazu.

SSIM ma zjednodušenú formu, ktorá sa často používa, kde položíme $\alpha = \beta = \gamma = 1$ a $C_3 = C_2 / 2$. Potom dosadíme:

$$SSIM(x, y) = \left(\frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \right) \left(\frac{2\sigma_{xy} + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \right), \quad (21)$$

Konštanty C_1 a C_2 volíme podľa vzťahu:

$$\begin{aligned} C_1 &= (K_1 L)^2, \\ C_2 &= (K_2 L)^2, \end{aligned} \quad (22)$$

kde: L je dynamický rozsah obrazových bodov (255 pre 8-bitové obrazy) a $K_1, K_2 \ll 1$ sú malé kladné konštanty.

Pre každý obrazový bod (i, j) sa vypočíta SSIM index. Kvalita celého obrazu sa vypočíta pomocou stredného SSIM indexu:

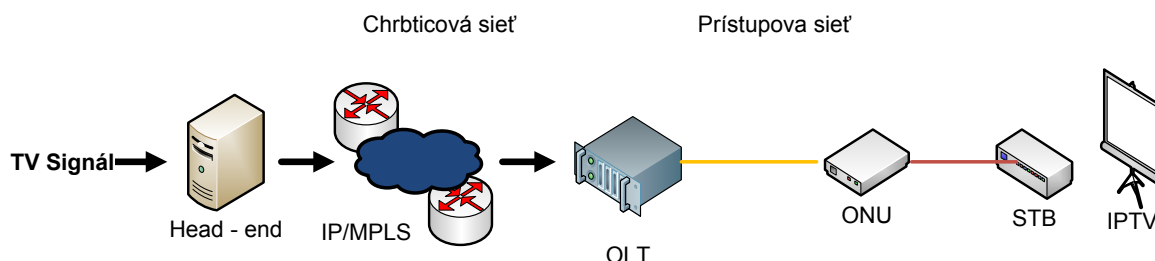
$$MSSIM = \frac{1}{M} \sum_i \sum_j SSIM(i, j), \quad (23)$$

kde: celkový počet M je počet lokálnych SSIM indexu.

7. IPTV štruktúra

7.1. Šírenie IPTV

Nižšie na obrázku 17 môžeme vidieť topológiu šírenia IPTV. Z ľavej strany sa ako prvé nachádza vybavovacie pracovisko (Super head-end). V tomto mieste vstupujú do siete televízne programy a rádiové stanice. Spôsobov ako môžu byť stanice získane je veľa, ide predovšetkým a satelitné, pozemné a káblové vysielanie. Vstupne video alebo audio signál spracováva vybavovacie pracovisko. Prichádzajúce signály sú buď analógové alebo digitálne. Analógový signál je digitalizovaný následne skomprimovaný pomocou vlnovej kompresie MPEG-2, MPEG-4/H.264 a VC-1. Digitalizovaný vstupný signál môže byť prekódovaný do iného adekvátneho formátu. Z vybavovacieho pracoviska postupuje video signál chrbticovou sieťou poskytovateľ, ktorý zaisťuje prenos dátových tokov do prístupovej siete. Chrbticová sieť poskytovateľ IPTV je zväčša založená na technológii IP/MPS (MPLS znamená, že prepínanie paketov je po definovanej ceste na základe návestia). Prístupová sieť má na starosti distribuovanie jednotlivých dátových tokov k zákazníkovi. Parametre kvality služby Qos tu hrajú dôležitú úlohu, kde môžeme uprednostňovať prenos videosignálu a zabrániť oneskoreniu alebo fragmentovaniu (rozdeleniu). V topológii IPTV siete sa ďalej nachádza regionálne odbočovacie pracovisko (local office), ktoré má na starosti pridávať do vysielania regionálne zameraný obsah (regionálne rozhlasové stanice, regionálne televízie atď.). Na konci topológie sa nachádzajú zákaznícke priestory, kde sú zákaznícke zariadenia (modem, Set-top-box), ktoré ukončujú jednotlivé dátové toky a prevádzajú ich na signály, ktoré sa dajú premietiť televízorom. [16]



Obr. 13: Štruktúra IPTV siete. chlebo 20

Na prenos video signálu sa používa viacero druhov kompresie a rôzne obrazové formáty HDTV a SDTV.

Tab. 3: Prenos digitálnej televízie.

Typ vysielania	SDTV	SDTV	HDTV	HDTV
Typ kompresie	MPEG-2	MPEG-4/H.264	MPEG-2	MPEG-4/H.264
Prenosová rýchlosť [Mb/s]	4 až 7	2 až 3	18 až 20	5 až 7 (720p/25) 8 až 14 (1080i/50)

7.2. Protokoly používané pre prenos video toku v IPTV

Prv ako sa vyšle video tok do siete, je nutné video signál upraviť pre prenos v dátových sieťach a potom následne preniesť až k užívateľovi. Vstupný video signál môže byť buď analógový alebo digitálny. Analógový signál je následne pomocou kóderov digitalizovaný a skomprimovaný pomocou vhodnej kompresie MPEG-2, MPEG-4/H.264, Windows média. Takýmto spôsobom vznikne dátové video/zvuk, ktorý je rozdelený do malých blokov PES (základný paketový tok). Bloky dát obsahujú záhlavie obrázku a záhlavie bloku dát. Časti základného paketového toku majú veľkosť 188 bytov. Toto je následne združované do prenosového dátového toku MPEG-TS. Do jedného ethernetového rámca môžeme vložiť až 7 blokov viz. obr. 18. [16]

Takto spracovaný video signál následne vstupuje do transportnej časti IPTV modelu. Táto časť sa skladá z dolných štyroch vrstiev OSI modelu fyzická, dátová, sieťová a transportná. Tieto štyri vrstvy OSI modelu slúžia k ďalšiemu zapúzdrovaniu prenosového video signálu a k jeho prenosu medzi zdrojom, video serverom – Head End a koncovým užívateľom.

7.2.1. UDP

User datagram protokol je definovaný IETF RFC 768. Jedná sa o takzvaný nespoľahlivý protokol. UDP protokol prenáša datagramy medzi jednotlivými počítačmi v sieti, ale na rozdiel od TCP nazaručuje, že paket sa nestratí prípadne že sa nezmení poradie paketov alebo nepríde viac krát. Preto je protokol UDP na rozdiel od TCP ľahší a časovo rýchlejší a efektívnejší. UDP protokol stanovuje postup pre aplikačné programy na odosielanie správ do iných programov s minimálnym mechanizmom. Nadefinuje spojenie medzi vysielacou a prijímacou stanicou na základe IP adresy a portu a tým sa dáta doručia do cieľa. Protokol UDP je nevhodný pre prenos obrazových dát, preto lebo dáta, ktoré dorazia prijímač zobrazí v poradí v akom sú doručené.

7.2.2. RTP

RTP (Real-time Transport Protokol) je definovaný IETF RFC 2250. Zabezpečuje doručovanie dát, najčastejšie je to video alebo audio v reálnom čase. Protokol RTP nepoužíva žiadne porty na komunikáciu a definuje štandardný formát paketu pre prenos audia a videa cez sieť. S UDP protokolom prebieha komunikácia na párnom porte a ďalší vyšší port je využitý ku komunikácií s RTCP. RTCP používame k sledovaniu prenosu štatistiky a kvality služby. RTP podporuje prenos dát do viacerých cieľov pomocou multicastu. RTP považujeme za primárny štandard pre audio a video prepravu v sieťach. Nižšie na obr.19 je znázornená štruktúra RTP protokolu

- V (Version number) – Každý paket obsahuje RTP číslo verzie. Ide o súčasť kontroly paketov,
- X - označuje prítomnosť rozšírenia hlavičky,
- P (Padding) ak ho nastavíme, paket bude na konci obsahovať jeden alebo viacero dodatočných oktétov, ktoré nie sú súčasťou payload. Padding je málo kedy používaný a je nutný pre niektoré šifrovacie systémy,

- M (Marker) – bit v hlavičke RTP sa používa na označenie zaujímavých udalostí v rámci medialného prúdu,
- PT (Payload Type) identifikuje média prepravovaného paketu,
- Sequence number – sekvenčné číslo slúži na identifikáciu paketov a poskytovanie údajov prijímačom ak sú pakety stratené alebo prijaté v inom poradí aby prijímaš vedel zrekonštruovať poradie paketov v akom boli odoslané,
- Timestamp - je časová pečiatka ktorá označuje vzorkovací okamžik pre prvý oktét medialných dát v pakete. Táto pečiatka musí byť odvodená od hodín, ktoré sa inkrementuju monotónne a lineárne v čase, aby sa mohla vykonávať synchronizácia Jitter,
- Synchronizácia source (SSRC) identifier – identifikuje aktérov v rámci relácie RTP. Tento identifikátor je vybraný náhodne so zámerom aby žiadne dva synchronizačné zdroje v rámci tej istej RTP relácie nemali ten istý SSRC identifikátor,
- Head extension (optional) - je nepovinný údaj. Rozšírenia hlavičky sú rôznej dĺžky,
- Payload header – poskytuje informácie. Payload bude v mnohých prípadoch potrebovať viac informácií pre optimálnu prevádzku, tieto informácie tvoria hlavičku, ktorá je definovaná ako súčasť payloadu formátu. Je súčasťou RTP paketu po pevnej hlavičke, všetkých záznamov CSRC a rozšírenej hlavičky,
- CSRC – Contributing Sources je zoznam prispievajúcich zdrojov, identifikuje účastníkov, ktorý prispeli k RTP paketu, ale nezodpovedá za jeho načasovanie a synchronizáciu. Dĺžka zoznamu je definovaná polom CC v hlavičke RTP.

7.2.3. RTSP

RTSP (Real Time Streaming Protocol) je kontrolný protokol, ktorý bol navrhnutý pre použitie v komunikačných systémoch pre kontrolu streamovaných médií. RTSP sa používa pre stanovenie a kontrolu relácií medzi koncovými bodmi. Klienti média serveru môžu sami spustiť prehrávanie videa alebo ho môžu aj zastaviť a opätovne spustiť. Prenos streamovaných dát samo o sebe nie je úlohou protokolu RTSP. RTSP servery zvyčajne používajú pre mediálny prúd doručenia RTP protokol.

7.2.4. IGMPv2

IGMP2 je definované IETF RFC 2236. Hovoríme o najstaršej verzii IGMP používanú na podporu IPTV. Hlavnou výhodou IGMPv2 od predchádzajúcej IGMPv1 je prídanie ďalšej správy, ktorá umožňuje znížiť zaťaženie siete. Ide o správu odhlásenia sa zo skupiny Leave Group, ktorá umožňuje užívateľovi sa okamžite odhlásiť a opustiť multicastovú skupinu a tým zabrániť preťaženiu siete. IGMPv2 je navrhnuté pre podporu akejkoľvek multicastovej siete a je kompatibilná s IGMPv1.

7.2.5. IGMPv3

IGMPv3 je definované IETF RFC 3376. Medzi hlavné vylepšenie v IGMPv3 je podpora SSM (Single Source Multicast). Pri používaní SSM užívateľ určuje zdrojovú adresu odkiaľ bude počúvať. IGMPv3 je vybavený ďalšími správami:

- Exclusion Membership Report umožňuje členom rozpoznávať zdroje, ktoré nechcú prijať,
- Membership Report určuje konkrétny zdroj dát pre multicastovú skupinu, nakoľko môže existovať viacero zdrojov,
- Inclusion Membership Report poskytuje jednotlivý členom skupiny IP adresy zdrojov z ktorých majú prijať dáta.

Jedná sa o dôležité zabezpečenie, ktoré zabráni iným klientom dostať sa do siete. Požiadavku na zmenu kanálov možno vykonať jedine IGMPv3, tým sa urýchľuje proces zmeny kanálov čo je rozhodujúca schopnosť v sieťach IPTV.

7.3. Kodeky používané v IPTV

Kodek je systém ktorý dokáže kódovať alebo dekódovať digitálny dátový prúd alebo signál. Kodeky často používajú strátové kompresie čo je v zaujme dosiahnuť čo najmenší objem dát výsledného streamu. To znamená že počas prevodu dochádza ku strate kvality signálu. Kodéky, ktoré používajú bezstavovú kompresiu umožňujú plne zachovať kvalitu signálu, ktorý kodek spracúva. IPTV zvyčajne používa štandardy stratovej kompresie MPEG-2/H.264 a MPEG-4 AVC/H.264.

7.3.1. MPEG TS

MPEG TS je definovaný štandardom MPEG-2 part 1 je používaný napríklad pri digitálnom televíznom vysielaní DVB. MPEG Transport Stream už nie je kodek, ale hovoríme o kontajnery, ktorý obsahuje jednu alebo niekoľko portov už zakódovaných. Pomocou MPEG TS môžeme prenášať aj viacero na sebe nezávislých videí. Pri prenose sa obvykle vyskytujú poruchy ako je čiastočné rušenie alebo strata súborov. V praxi sa zvyčajne nevyužíva na odosielanie alebo zverejňovanie jednotlivých video súborov. S miernymi úpravami a rozšíreniami nad rámec MPEG štandardov sa používa aj v špecifikácii formátu Blu-ray Disc Video.

7.3.2. MPEG-2/H.264

Bol vytvorený, aby bolo možné prenášať televízne obrazy a to nie len štandardnej televízie (SDTV – Standard Definition Television), ale aj televízie s veľkou rozlišovacou schopnosťou (HDTV). MPEG-2 je štandardom ISO/IEC CD 13818-1-2-3 je veľmi premyslený a rozdelený do mnoho skladateľných zoskúpení pre rôznu použiteľnosť. MPEG-2 používa na spracovanie televízneho obrazu prekladané riadkovanie. Z toho vyplíva aj väčšia dokonalosť všetkých troch základných pracovných postupov. Prvým je predikčné kódovanie s podporou, môžeme povedať s kompenzáciou, pomocou vektorov pohybu. To odstraňuje zo signálu nadbytočné časovo nepremenné informácie. Ďalej je to dvojrozmerná DCT majúca spolu s kvantovaním hlavný podiel na odstraňovaní nepodstatných, pre ľudské oko nevnímateľných, obrazových detailov. Tretia časť je kódovanie a premennou dĺžkou slova, využívajúcich statických četností v rozložení informácií pre minimalizáciu bitovej rýchlosti.[17]

7.3.3. MPEG-4 AVC/H.262

H.264, MPEG-4 part 10 alebo AVC Advanced Video Coding je digitálny video kodek štandardu, ktorý je známy pre dosiahnutie veľmi vysokej kompresie dát. Napísaná ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) spolu s normou ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) ako produkt spoločného úsilia. H.264/AVC/MPEG-4 obsahuje rad nových funkcií, ktoré jej dovoľia kompresiu videa oveľa účinnejšie ako staršie normy a poskytnúť väčšiu flexibilitu pre aplikácie. Aj napriek vysokým nárokom na hardware má široké možnosti uplatnenie. Je predpísaný ako súčasť rôznych formátov a štandardov, používa sa napríklad na videokonferencie, streamovanie, video na webových stránkach, HD video na Blu-ray Disc, DVB vysielanie alebo v digitálnych kamerách AVCHD. [20]

8. VIDEOLAN

VideoLan je softverové riešenie pre streamovanie videa, ktoré vyvinuli študenti z Ecole Centrale Paríž a vývojari z celého sveta pod GNU General Public Licence (GPL). VideoLan je navrhnutý tak aby MPEG videá boli prenášané v širokopásmových sieťach. Zahŕňa v sebe hlavný produkt VLC média player.

8.1. VLC media player

VLC funguje na viacerých platformách. Môže byť použitý ako klient na prijímanie, dekódovanie a zobrazovanie MPEG. Dokáže čítať MPEG-1, MPEG-2 a MPEG-4 súbory z pevného disku, CD-ROM, DVD a VCD od satelitnej karty (DVB-S). VLC môžeme použiť aj ako server pre streamovanie MPEG-1, MPEG-2 a MPEG-4, DivX súbory, DVD na jedno zariadenie na jednu IP tzv. unicast alebo na dynamickú skupinu zariadení, na ktorú sa klienti môžu pripojiť alebo odpojiť, na skupinovú adresu IP tzv. multicast.

Inštalácia VLC na operačný systém Ubuntu, ktorý bol na servery sa vykonáva buď pomocou Správcu balíkov Synaptic vyhľadáním položky VLC alebo príkazom, ktorý zadávame do terminálu.

- `apt-get update` aktualizuje vrtké nové balíky,
- `apt-get install vlc` nainštaluje vlc.

8.2. Prenos videa typu unicast

Unicast je komunikácie medzi jednou stranou odosielateľa a jednou stranou prijímateľa cez sieť. V prípade videa ide o server, ktorý video vysiela a klienta, ktorý video prijíma a pozoruje. Pri unicaste môže dôjsť k zahlteniu siete pri veľkom množstve požiadaviek. Unicast ma výhody ako je, že príjemca má kontrolu nad prenášaním videom, môže ho spustiť, zastaviť alebo prehľadávať.

Unicast streamovanie spustíme na strane servera pomocou príkazu:

- `vlc /Plocha/video/Org.avi -sout '#std{access=udp,mux=ts,dst=192.168.142.10:1234}'`

Prijem videa na strane klienta s ip 192.168.142.10 získame pomocou príkazu:

- `vlc udp://@:1234`

8.3. Prenos videa typu broadcast

Broadcast je komunikácia medzi jednou stranou odosielateľa a vrtkými ostatnými stranami príjemcov. Video je vysielané z hlavnej stanice a prijímajúho všetky ostatné stanice. Veľkou nevýhodou broadcastu je, že na stredne veľkých a veľkých sieťach môže dôjsť k zahlteniu.

Broadcast streamovanie spustíme na strane servera pomocou príkazu:

- `vlc /Plocha/Video/Org.avi – sout ‘#std{access=udp,mux=ts,dst=192.168.142.255:1234}’`

Príjem videa získame pomocou zadanie príkazu na akomkoľvek počítači v sieti s IP adresou v rozsahu 192.168.142.x:

- `vlc udp://@1234`

8.4. Prenos videa typu multicast

Multicast je metóda doručenia dát do skupiny cieľovým počítačom. Multicast bol vyvinutý pre doplnenie technológií unicast a broadcast, ktoré nezvládali nové aplikácie. Pri multicaste môžeme server vysielat' viac videí a prijímať ich bude len istá skupina príjemcov.

Multicastové streamovanie spustíme pomocou príkazu:

- `vlc /Plocha/Video/Org.avi sout ‘#std{access=udp,mux=ts,dst=239.2.3.100:1234}’`

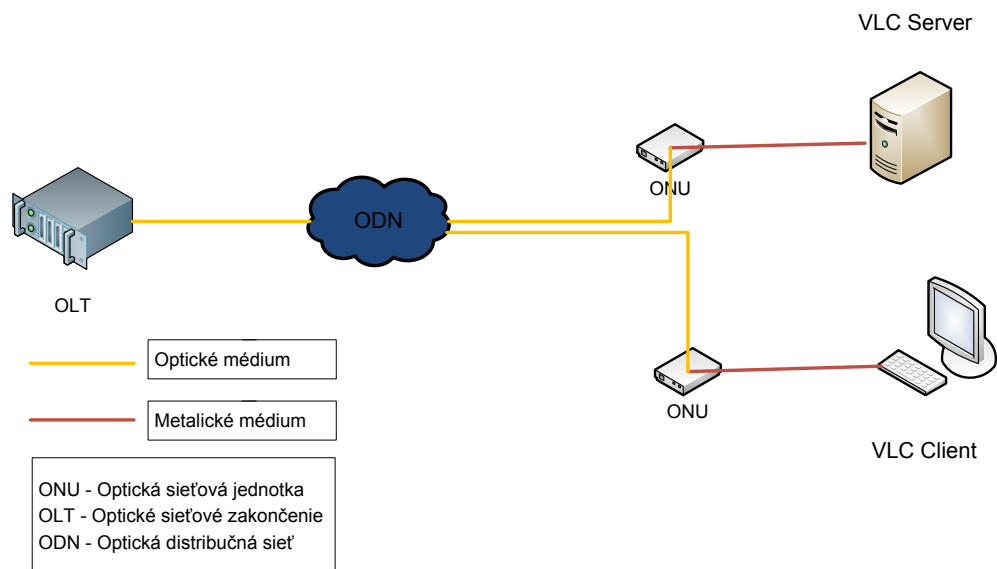
Príjem videa získame pomocou príkazu:

- `vlc udp://@239.2.3.100`

9. Meranie kvality IPTV

V tejto časti bakalárskej práce sa venujem meraniu kvality služby IPTV. Praktickú časť som vykonával v plne vybavenej učebni ktorá bola vybavená dostatočnými prostriedkami pre zhotovenie mojej praktickej časti bakalárskej práce. Na obrázku 14 je znázornená schéma zapojenia siete, s ktorou som pracoval. Táto praktická časť mojej bakalárskej práce je rozdelená do viacerých častí.

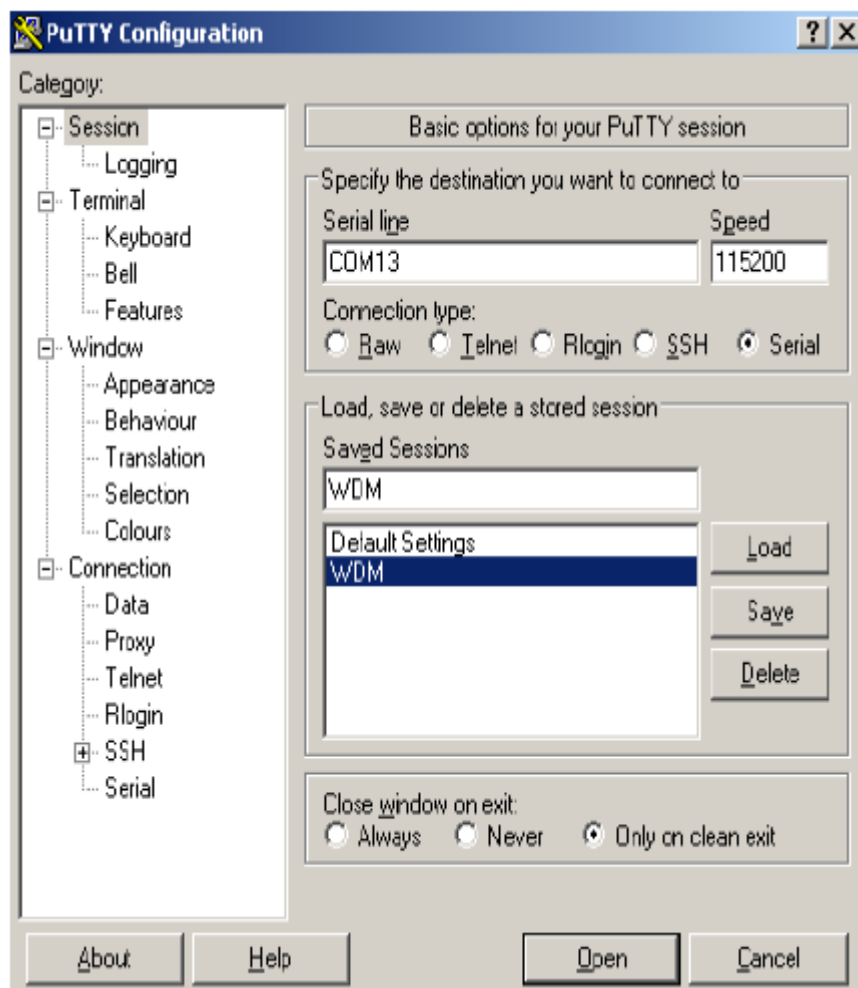
- Konfigurácia OLT
- Konfigurácia DHCP na OLT
- Meranie služby EtherSAM
- Meranie kvality obrazu a video signálu objektívnou metódou SSIM a PSNR



Obr. 14: Schéma zapojenia siete.

9.1. Konfigurácia OLT

Na OLT zariadení musí byť nastavený DHCP server, ktorý automaticky prideliť IP adresy zariadeniam umiestneným v sieti. Konfiguráciu som realizoval pomocou PC na ktorom bol nainštalovaný menežovací software EA Manager 1100 StandAlone a EA Manager 1100 Client . Tento počítač bol prepojený s OLT pomocou UTP kábla s tzv. Element management Systém (EMS port), ktorý nájdeme na managementovacej karte WDM-PON. Tomuto portu je priradená vlastná IP adresa.



Obr. 15: Nastavenie putty.

Je teda zrejmé, že notebook i EMS musia byť v rovnakej sieti. Pre zistenie prípadne nastavenie IP adresy na EMS portu je potrebné sa pripojiť konzolovým káblom do portu CONSOLE na managementovacej karte. Pre nastavovanie pomocou konzolového kábla použijeme software PUTTY.

- Konfigurácia PUTTY je násleovná (obr. 15): Komunikačný port – COM13; rýchlosť – 115200; Typ spojenia – Seriál,
- Hesla pre pripojenia sú: username – admin; password – admin,
- Teraz môžeme zistiť IP adresu na EMS portu použitím príkazu RTRV-IP-CFG; popríade nastaviť vlastnú IP adresu príkazom PRV-IP-CFG::IPADDR , [SUBNET]; (nie je potrebné prenasťavovať, má len informatívny charakter).

Pokiaľ už poznáme IP adresu EMS portu, je veľmi jednoduché nastaviť statickú IP adresu na sieťovej karte v notebooku tak, aby bola v rovnakom subnetu ako EMS port.

9.1.1. Konfigurácia DHCP na OLT

V prvom kroku si spustíme software pre konfiguráciu WDM-PON, jeho ikona je umiestnená na ploche notebooku a ma názov EA Manager 1100 StandAlone. Po spustení nás privíta logovacie okno (viz obr 16) a požiada nás o vyplnenie Server IP, tu nastavíme IP adresu sieťovej karty, ďalej vyplníme USER ID – admin a PASSWORD – admin. Po nalogovaní sa nam zobrazí úvodne okno softwaru. Pokiaľ není k WDM-PON pripojená žiadna ONU jednotka alebo nie je privedená konektivita, program indikuje hlasovú, chybovú hlášku.



Obr. 16: Logovacie okno.

Prvou úlohou, ktorú musíme po spustení managementovacieho systému spraviť, je nahráť si súčasnú konfiguráciu WDM-PON do softwaru tzv. synchronizovať DB. V úvodnom okne zvolíme v hlavnom panelu Systém > DB Synchronization > Subnet > ROOT > PON001 > View > Apply. Úspešná synchronizácia je indikovaná 100% statusom CMD SUCCESS.

Po samotnom nastavení jednotlivých zásuvných kariet WDM-PON musíme kliknúť na ikonu v úvodnom okne PON001, kde sa zobrazia jednotlivé zásuvne karty.

Teraz už môžeme začať s nastavovaním DHCP serveru. Najprv si musíme nadefinovať tzv. IP pool, kde sa zadáva sieť, maska, pridelenie IP adresy atd. V okne so zásuvnými kartami zvolíme Access Management > DHCP > záložka DHCP IP Pool.

Aktivácia DHCP servru sa vykona následovne. V okne zo zásuvnými kartami si zvolíme Access Management > DHCP > záložka DHCP Config > Act DHCP Server > SET.

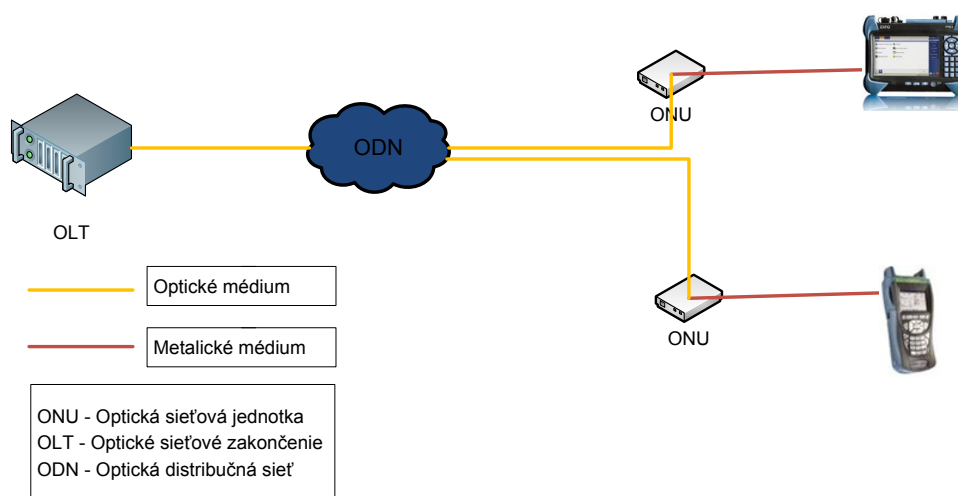
Aby nám DHCP služba fungovala, musíme sieť pridelených IP adries priradiť na rozhranie (Virtual router port VRP). Toho dosiahneme, že v okne zo zásuvnými kartami zvolíme L3 ROUTING > IP config > záložka L3 interface.

9.1.2. Aktivácia jednotlivých ONU

Po zvladnutí nastavenia DHCP servera nám ostáva posledný krok, ktorý sa zaoberá povolením viacerých portov na WDM-PON (teda pripojenia viacerých ONU jednotiek). V okne so zasuvnými kartami zvolíme Command Check vyberieme, ktoré porty chceme aktivovať > State: ACT > SET.

9.2. Meranie služby EtherSAM

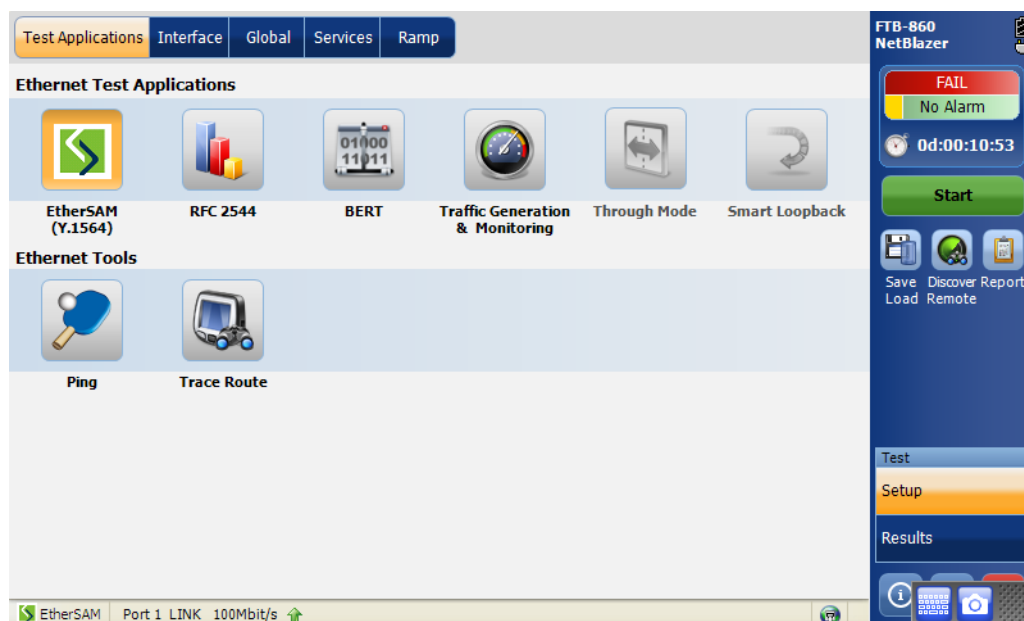
V ďalšom kroku praktickej časti bakalárskej práce som sa zamerlal na meranie služby EtherSam. Na zapojenej topológii siete (viz obr 25) som na stranu VLC servera UTP káblom pripojil sofistikované zariadenie firmy EXFO FTB 860 a na stranu klienta som UTP káblom pripojil zariadenie AXS 200/850 a na OLT som simuloval zaťaženie siete pomocou služby QoS.



Obr. 17: Schema zapojenia EXFO zariadení.

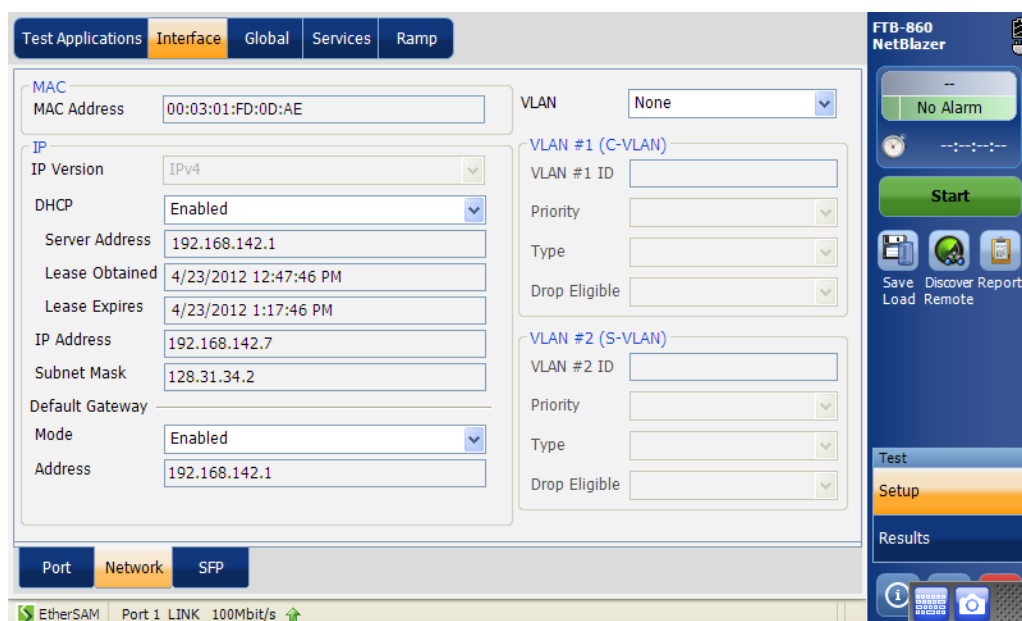
Po pripojení zariadení do siete som začal s ich nastavovaním. Ako prvé som nastavil AXS 200/850, na ktorom som musel v prvom rade nastaviť port na Electrical: Setup > Interface > Port > Transceiver Mode > Electrical a rýchlosť pripojenia v položke Speed > 100 Mbps. V ďalšom kroku bolo potrebné aby zariadeniu bola pridelená IP adresa sieťou, k tomuto je potrebné nastaviť DHCP na zariadení: Setup > Interface > Network > DHCP > Enable. Po týchto nastaveniach má zariadenie pridelenú IP adresu a komunikuje so sieťou. Pridelená adresa bola 192.168.142.10. Teraz už môžeme na AXS aktivovať položku Smart Loopback.

Po nastavení AXS 200/850 bolo potrebné nastaviť FTB 860. Po zapnutí zariadenia sa nám automaticky spustí aplikácia FTB 860 NetBlazer pre meranie EtherSam, RFC 2544 a ďalšie. (viz. obr 18)



Obr. 18: Úvodné okno FTB 860 NetBlazer.

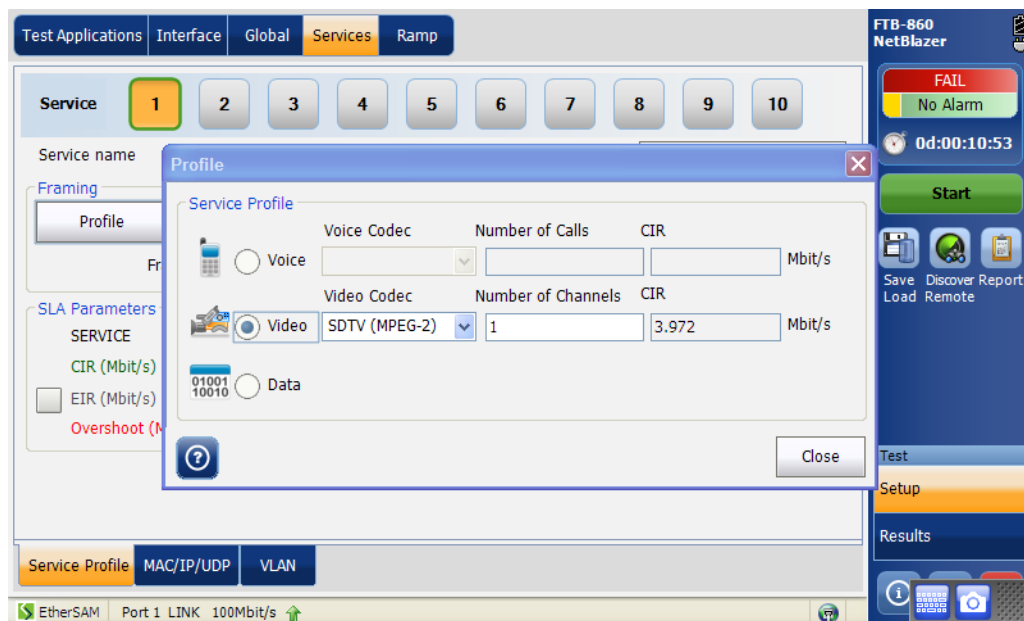
V prvom kroku musíme na zariadení taktiež nastaviť DHCP, čo zrealizujeme kliknutím na položku Interface a nastavením DHCP na hodnotu Enabled (viz obr 19).



Obr. 19: Nastavenie DHCP na FTB 860.

V ďalšom kroku musíme vyhľadať v sieti zariadenie AXS a pripojiť sa k nemu. Toto zrealizujeme pomocou funkcie Discover Remote, ktorého ikona je umiestnená v pravej časti obrazovky. Po odkliknutí sa nám zobrazí okno, v ktorom zvolíme položku Scan Subnet. Teraz by sme mali vidieť nájdenú IP adresu zariadenia AXS 192.168.142.10 následne zvolíme možnosť Look Up. Po prevedení týchto krokov sú zariadenia spojené a môžeme začať s nastavením konkrétného merania v mojom prípade meranie EtherSAM.

Zvolíme položku Service v zobrazenom okne následne môžeme nastavovať hodnoty ako: Max Jitter, Frame Loos, Round-trip Latency a Profile. V sekcii SLA Parameters musíme hodnotu SERVICE nastaviť na Enabled. V položke Profile zaškrtneme možnosť Video a zvolíme príslušný Video codec (viz obr 20)



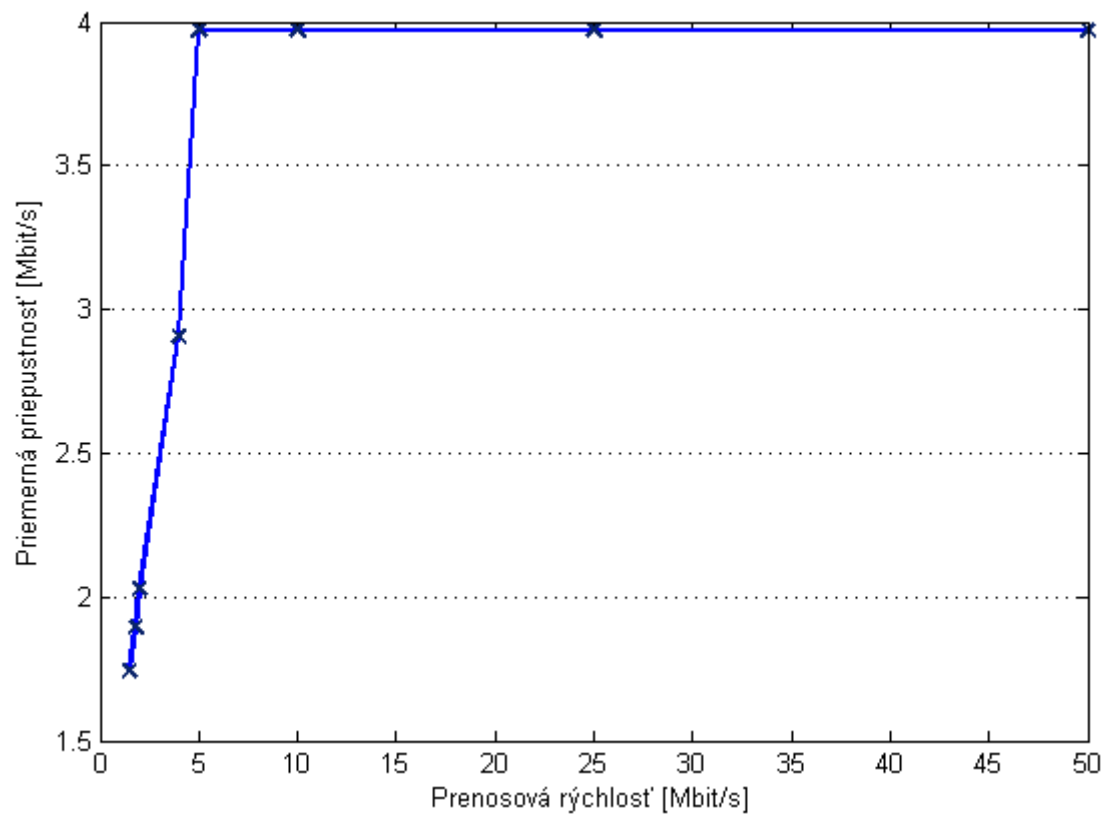
Obr. 20: Nastavenie hodnôt pre meranie EtherSAM.

Po týchto nastaveniach už môžeme spustiť samotné meranie kliknutím na tlačítko Štart v pravej časti obrazovky. S týmito nastaveniami som realizoval merania pri rôznych nastaveniach parametra QoS.

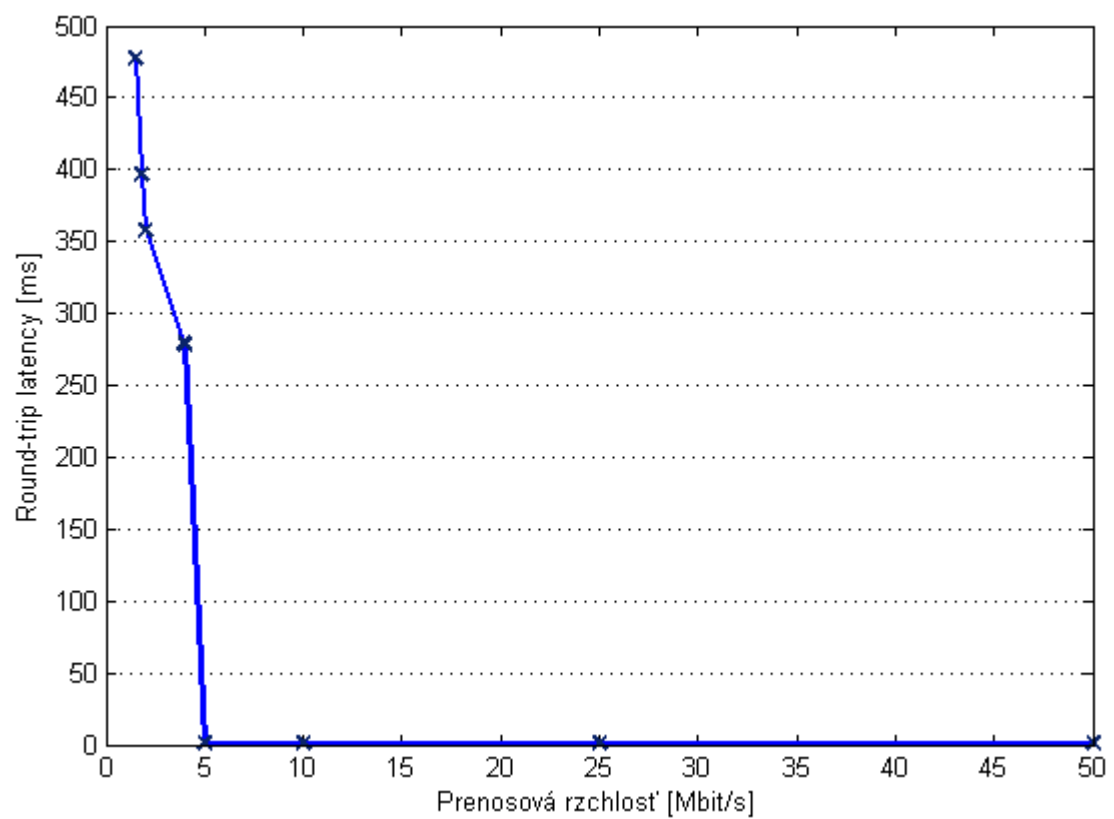
Tab. 4: Výsledky merania vplyvu QoS na kvalitu IPTV.

Číslo merania	Rýchlosť prenosu	Priemerná priepustnosť	Round-trip Latency	Max Jitter	Frame Loss
1	50 Mbit/s	3.972 Mbit/s	0.750ms	0.015ms	0.00%
2	25 Mbit/s	3.972 Mbit/s	0.750ms	0.015ms	0.00%
3	10 Mbit/s	3.972 Mbit/s	0.750ms	0.015ms	0.00%
4	5 Mbit/s	3.972 Mbit/s	0.750ms	0.015ms	0.00%
5	4 Mbit/s	2.907 Mbit/s	279ms	141ms	33.97%
6	2 Mbit/s	2.027 Mbit/s	358 ms	177ms	47.353%
7	1.8 Mbit/s	1.893 Mbit/s	397ms	213ms	53.671%
8	1.5 Mbit/s	1.745 Mbit/s	478ms	236ms	61.651%

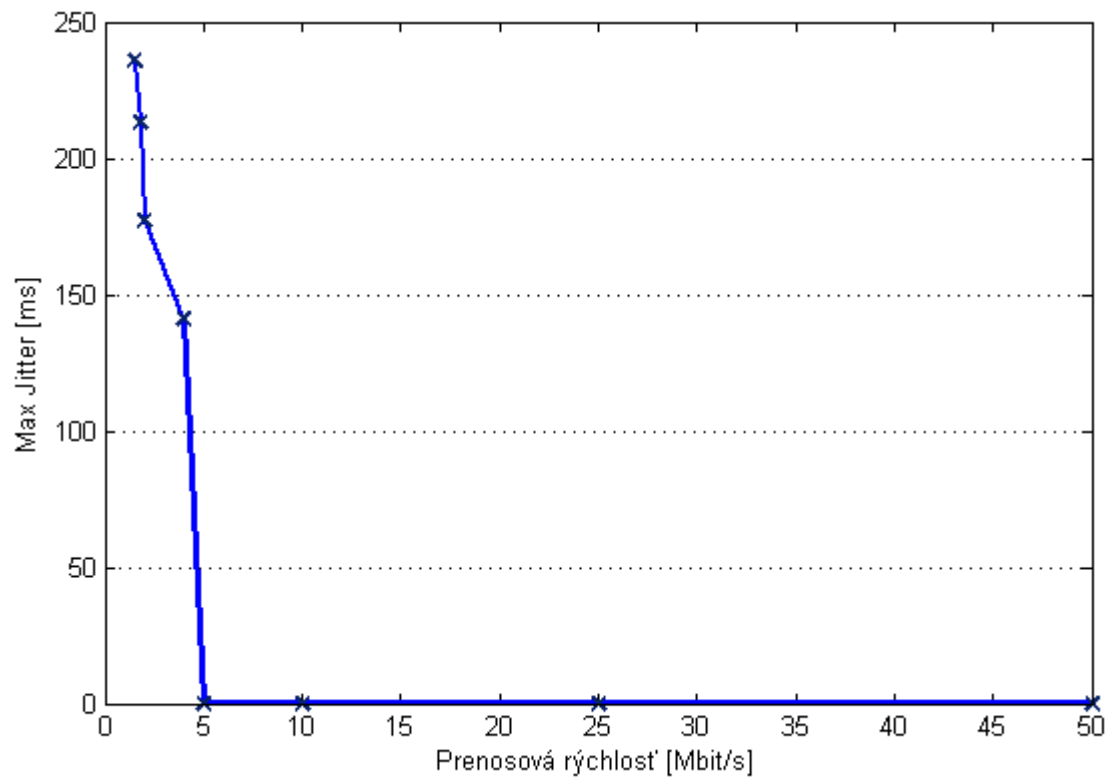
V tabuľke môžeme vidieť namerané hodnoty pri jednotlivých prenosových rýchlostiach. Pri prenosových rýchlostiach 5 Mbit/s a vyššie nedochádza k žiadnym stratám paketov. Značný rozdiel už môžeme vidieť pri meraní s hodnotami prenosových rýchlostí 3 Mbit/s a nižšie. Vidíme že nám stúpla frame loss, latency a aj jitter. V nasledujúcich grafoch môžeme vidieť vplyv obmedzovania prenosovej rýchlosti na jednotlivé merané parametre.



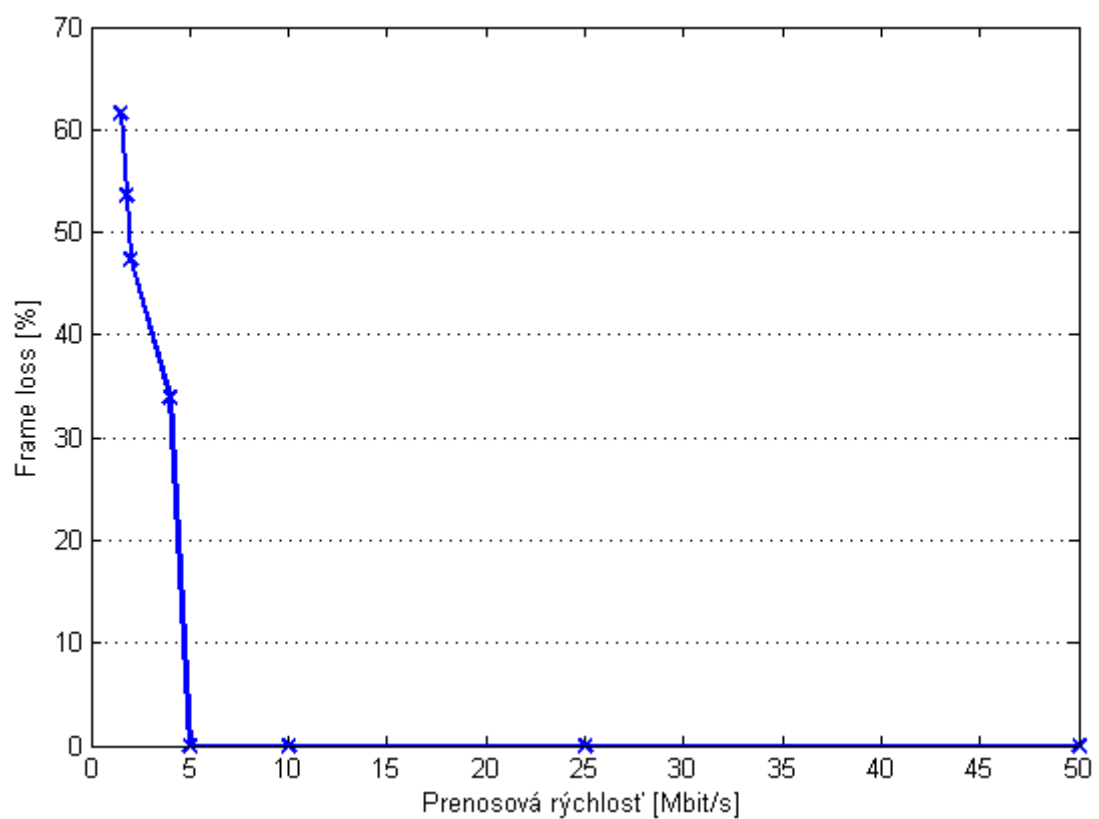
Obr. 21: Graf znázorňujúci priemernú priepustnosť.



Obr. 22: Graf znázorňujúci Round-trip Latency.



Obr. 23: Max Jitter.



Obr. 24: Graf zobrazujúci strátovosť packetov .

Z nameraných hodnôt môžeme vyčítať, že pre kvalitu IPTV služby, je veľmi dôležitá prenosová rýchlosť. Dostačujúca rýchlosť pre IPTV služby je 5 Mbit/s, pri poklese pod túto rýchlosť prenosu dochádza k značnému nárastu chybovosti.

9.3. Objektívne meranie kvality obrazu a video signálu

Pre objektívne meranie kvality video sekvencie som si zvolil metódy PSNR a SSIM.

9.3.1. Výber vhodnej videosekvencie

V prvom kroku je potrebné si vybrať vhodnú video sekvenciu, na ktorej sa bude meranie realizovať. Na obrázku 25 je uvedená video sekvencia, ktorá je spracovaná pomocou počítača v digitálnej podobe. V tejto video sekvencii sa postupne pridávajú farby, objekty pri rôznych pohyboch objektov. Dĺžka sekvencie je približne 3 min 20 sekúnd, ale na porovnanie je s videa vystrihnutý úsek v dĺžke trvania 24 sekúnd, čo je dostačujúci čas na vyhodnotenie kvality obrazu. V tabuľke 5 sú uvedené parametre zvolenej testovacej video sekvencie.



Obr. 25: Testovacia video sekvencia.

Tab. 5: Parametre testovanej video sekvencie.

Formát	VOB
Rozlíšenie	576x320 pixelov
Pomer strán	4:3
Trvanie	0:03:34
Počet snímkov za sekundu	23Fps
Video typ	PAL
Audio formát	AC3
Prenosová rýchlosť	1,873 Mbit/s

9.3.2. Tvorba testovacej sekvencie

Video sekvenciu som testoval na topológii znázornenej na obrázku 14. Konfigurácií tejto siete som sa venoval v kapitole 9. V tejto časti bakalárskej práce sa venujem prenosu testovacieho videa so servera k užívateľovi cez unicast. Počas tohto testu som symuloval zataženie siete pomocou jednej s funkcií služby QoS na OLT. Hodnoty QoS, ktoré som použil na meranie objektívnych metód hodnotenie kvality obrazu a video signálu sú 5 Mbit/s, 4 Mbit/s, 2 Mbit/s, 1,8 Mbit/s a 1,5 Mbit/s. Na prenos testovacieho videa som použil program VLC media player 1.1.9, ktorý už bol na servery nainštalovaný a na meranie kvality obrazu objektívnymi metódami som použil voľne šíriteľný program MSU Video Quality Measurment Tool.

9.3.3. Postup merania

V prvom kroku som vytvoril vlc server (VLC/IP DVB streamer), z ktorého streamujem testovacie video cez unicast jednému užívateľovi. Video je skonvertované do stratovej kompresie MPEG-2, a prenášané cez RTP protokol na IP adresu 192.168.142.10 na porte 5004.

Na strane užívateľa je vlc média player nastavený na prijímanie streamovaného videa. Pri každom streamovaní videa, znižujem hodnoty prenosovej rýchlosti a následne ukladám prijaté video vo formáte MPG.

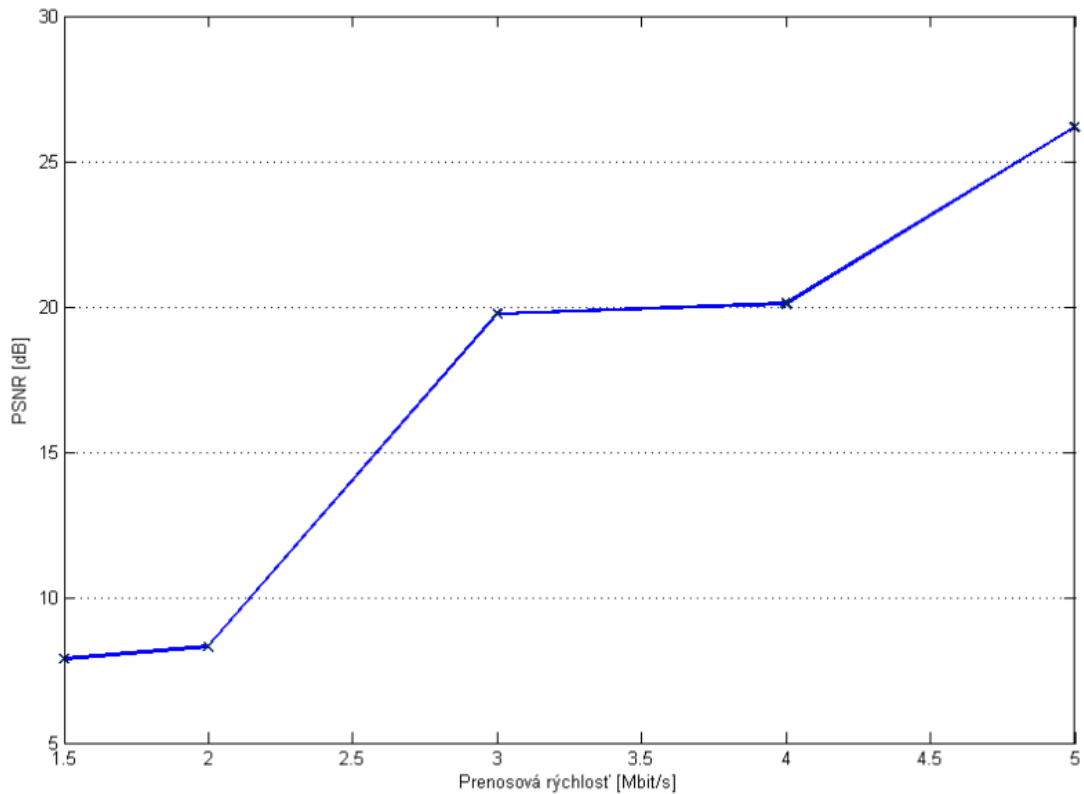
9.3.4. Spracovanie a vyhodnotenie nameraných výsledkov

V tomto kroku porovnávam uložené streamované videa s originálnym videom pomocou programu MSU Video Quality Measurment Tool. Vyhodnotenie som opakoval so všetkými streamovanými videami. Hodnoty z objektívneho merania kvality obrazu a video signálu metódami SSIM a PSNR sú uvedené v nasledujúcej tabuľke 6.

Tab. 6: Výsledky merania SSIM a PSNR.

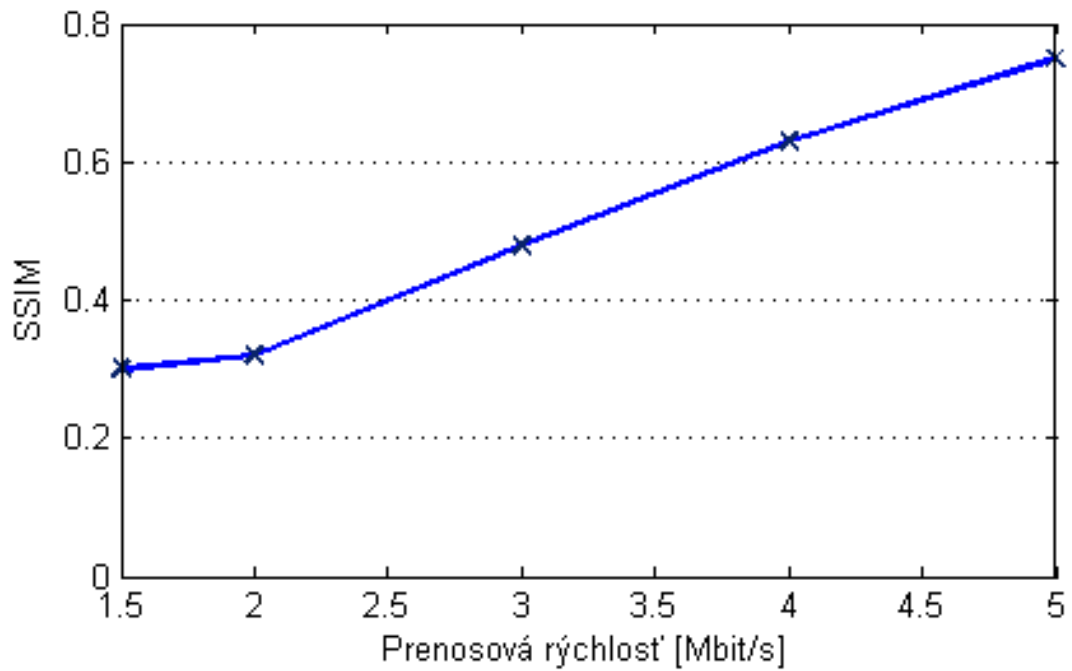
		
<p>Original video PSNR SSIM</p>	<p>prenosová rýchlosť: 5 Mbit/s PSNR = 26.17454 SSIM = 0.75566</p>	<p>Prenosová rýchlosť: 4 Mbit/s PSNR = 20.11237 SSIM = 0.63047</p>
		
<p>Prenosová rýchlosť: 3 Mbit/s PSNR = 19.76632 SSIM = 0.48762</p>	<p>Prenosová rýchlosť: 2Mbit/s PSNR = 8.31921 SSIM = 0.32902</p>	<p>Prenosová rýchlosť: 1.5 Mbit/s PSNR = 7.84589 SSIM = 0.30172</p>

Z nameraných hodnôt môžeme zkonštatovať, že pri znižovaní prenosovej rýchlosti sa hodnoty objektívnych metód znižujú. Pri znížení prenosovej rýchlosti pod štandard, ako je uvedené v tabuľke 5, objektívne metódy vykazujú nižšiu kvalitu obrazu a video signálu. Pri prenosových rýchlostiach 5 Mbit/s a vyšších sa hodnoty SSIM a PSNR menia len veľmi málo preto tu tieto hodnoty ani neudávam. Hodnoty SSIM a PSNR sa začali meniť až po klesnutí prenosovej rýchlosti pod 5 Mbit/s. Hodnoty SSIM predstavujú približnú realitu kvality obrazu ale hodnoty PSNR nespĺňajú podmienky pre typické hodnoty. Možná príčina je v nesynchronnosti zvuku s videom. Nároky na prenosovú rýchlosť sa menia v závislosti na kvalite prenášaného videa, použitého kodeku a zozlúšenia. Čím kvalitnejší video prenášame tým je potrebná vyššia prenosová rýchlosť. Z výsledkov môžeme konštatovať, že prenosová rýchlosť testovanej video sekvencie je 1,873 Mbit/s a k viditeľnému zhoršeniu kvality dochádza pri obmedzení prenosovej rýchlosti na 2 Mbit/s. V nasledujúcich grafoch môžeme vidieť vplyv obmedzovania prenosovej rýchlosti na hodnoty objektívnych metód merania kvality obrazu a video signálu SSIM a PSNR.



Obr. 26: Graf vplyvu prenosovej rýchlosti na PSNR.

Optimálna hodnota PSNR je medzi 30 až 40 dB.



Obr. 27: Graf vplyvu prenosovej rýchlosti na SSIM.

Pri SSIM je najlepšia možná hodnota 1 čo predstavuje úplnu zhodu čím je toto číslo nižšie tým je streamovaný obraz, video signál horší.

10. Záver

Táto bakalárska práca sa zaoberá problematikou služby IPTV v rámci skúšky Triple Play v pasívnych optických prístupových sieťach. V súčasnosti je veľa operátorov, ktorý poskytujú službu Triple play na báze optických prístupových sietí pre užívateľov. Preto je potrebné v praxi overiť či je optická prístupová sieť dostačujúca pre kvalitu služby IPTV. Táto práca je zameraná na meranie kvality služby IPTV pomocou sofistikovaných zariadení firmy EXFO a objektívnou metódou kvality obrazu a video signálu. Prácu som rozdelil do dvoch častí a to teoretickej a praktickej .

V teoretickej časti som sa zamerail na optické prístupové siete. Optické prístupové siete delíme do viacerých kategórií podľa toho, kde je optické vlákno ukončené a akým spôsobom sa k zákazníkovi dostáva. Ďalej stručne popisujem jednotlivé typy PON sietí a obsiahlejšie sa venujem WDM-PON.

U Triple-play opisujem jednotlivé služby, ktoré môžu operátori poskytovať pre užívateľov. IPTV sa venujem obsiahlejšie, opisujem jednotlivé protokoly a kodeky ktoré používam na prenos video signálu. V súčasnosti operátori poskytujú tri služby, ale v blízkej budúcnosti by sa mohli rozrásť na štyri služby. Pri takomto type služieb je veľmi dôležitá kvalita, preto v ďalšej časti bakalárskej práce popisujem subjektívne a objektívne metódy merania kvality obrazu a video signálu.

V praktickej časti sa venujem konfigurácií optickej prístupovej siete, prenosu video signálu a meraniu kvality služby IPTV. Uvedený postup konfigurácie optickej prístupovej siete som realizoval na OLT zariadení. Prvé meranie som realizoval pomocou sofistikovaných zariadení firmy EXFO. V tomto meraní som simuloval zaťaženie siete na OLT a pomocou merania EtherSAM som skúmal strátovosť packetov, jitter a delay pri rôznych prenosových rýchlostiach. V druhom meraní som sa zamerail na vyhodnotenie kvality obrazu a video signálu objektívnymi metódami hodnotenia obrazu a video signálu SSIM a PSNR. Opisujem postup streamovania video súboru užívateľovi cez unicast. Video je prenášané cez RTP protokol a skomprimované do MPEG-2 kodeku. Na strane príjemcu sa video ukladá do formátu MPG. Porovnávanie streamovaných videí s originálnym som realizoval pomocou programu MSU Video Quality, ktorý podporoval metódy SSIM a PSNR objektívneho merania kvality obrazu a video signálu.

Z vykonaných meraní som zistil, že kvalita služieb spojených s prenosom obrazu a video signálu je závislá na prenosovej rýchlosti. Pri nízkych prenosových rýchlostiach dochádza k strate packetov, zmene ich podania a tým aj k zhoršeniu kvality služby. Pre IPTV službu je dostačujúca prenosová rýchlosť 2 Mbit/s. Z ďalšieho merania objektívnymi metódami SSIM a PSNR vyplynulo, že kvalita streamovaného videa je závislá od prenosovej rýchlosti. Čím väčšiu kvalitu videa streamujeme, tým väčšiu šírku pásma potrebujeme. Ak je prenosová rýchlosť menšia ako štandardná prenosová rýchlosť videa, začína dochádzať k strátovosti packetov, a tým aj k znehodnoteniu obrazu a video signálu.

Literatúra

- [1] VODRÁŽKA, J. <http://Access.feld.cvut.cz> [online]. 2005 [cit. 2012-04-02]. Optické přístupové sítě EPON a CWDM. Dostupné z WWW: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2005070401>>.
- [2] HLADKÝ, Miroslav. FTTX PRÍSTUPOVÉ INFRASTRUKTURY, Brno, 2008. 72 s. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [3] hps.mallat.cz [online]. 2003 [cit. 2012-04-01]. Co je co v IT > Optické vlákno a kabely. Dostupné z WWW: <http://hps.mallat.cz/view.pahp?cislocclanku=2003090203>>.
- [4] Optické siete FTTx [online]. [s.1]: Tel Temp, 2007 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z WWW: http://www.teltemp.sk/svk/ELOSYS_2007_FTTH.pdf>.
- [5] BOBKOVICH, Peter. "TRIJITá HRA" – FTTH. Brno, 2008. 62 s. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [6] Standard ITU-T G.983, G.984 [online]. Telecommunication Standardization Sector (ITU-T): [s.n], 2005-2008 [cit. 2012-05-04]. Dostupné z WWW: <http://www.hit.bme.hu-jakab/edu/litr/PON/ITU/>>.
- [7] LAFATA P, Access.feld.cvut.cz [online]. 23.5. 2009 [cit. 2012-05-04]. Pasivní optická přístupová síť EPON. Dostupné z WWW : <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2009050003>>.
- [8] ITU-T: G.694.2 – Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid. [online], Internet: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.2-200312-II/>. [cit. 2012-05-04]. ITU-T, December 2003.
- [9] LAFATA P, Access.feld.cvut.cz [online]. 23. 05. 2009 [cit. 2012-05-04]. Pasivní optické sítě WDM-PON, Dostupné z WWW: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2009050004>>.
- [10] CEDRIC LAM, Passive Optical Network, [cit. 2012-05-04], Výhody a problémy WDM-PON, 72s
- [11] HLAVÁČEK J., BEŠŤÁK R. Access.feld.cvut.cz [online]. 21.01. 2010 [cit. 2012-05-04]. Aktuální problémy řízení kvality služeb v IP telefonii. Dostupné z WWW: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2010010003>>.
- [12] SK.wikipedia.org [online]. 3. apríl 2011 [cit. 2012-05-05]. Kvalita služby. Dostupné z WWW: http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvalita_sluzby>.
- [13] WWW.EXFO.COM, [online]. 2 apríl 2012 [cit. 2012-04-04]. RFC 2544. Dostupné z WWW: <http://documents.exfo.com/appnotes/anote183-ang.pdf>>.

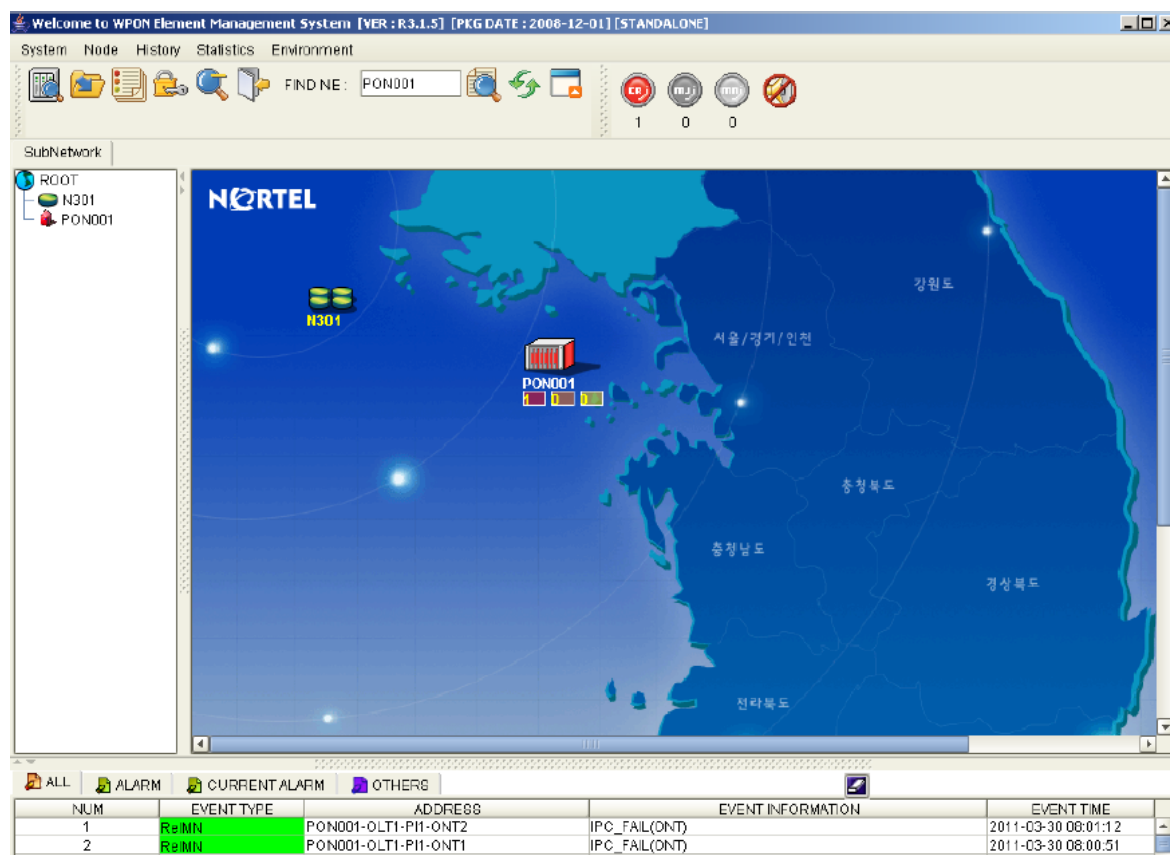
- [14] PETER POTROK, profiber.eu [online], 2 apríl 2012 [cit. 2012-04-04], EtherSAM jak jít po kvalitě služeb Triple Play. Dostupné z WWW: http://www.profiber.eu/files/B4_Hladky_Potrok_EtherSAM_jak_jit_po_kvalite_sluzeb_TriplePlay.pdf.
- [15] KRATOCHVÍL, T. Analýza přenosových zkreslení číslicových obrazových signálu. PhD Thesis. Brno: Nakladatelství VUTIUM Brno, 2007. 32 s. ISBN: 978-80-214-3412-7.
- [16] ZEMAN T., KREJČÍ J.. Access.feld.cvut.cz [online]. 10. 12. 2008 [cit. 2012-05-05]. Úvod do IPTV. Dostupné z WWW: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocianku=2008100002>.
- [17] VÍT, V. Televizní technika – přenosové barevné soustavy. BEN – technická literatura, Praha, 1997. 720 s. ISBN 80-86056-04-X.
- [18] KRATOCHVÍL, T. Analýza přenosových zkreslení číslicových obrazových signálu. PhD Thesis. Brno: Nakladatelství VUTIUM Brno, 2007. 32 s. ISBN: 978-80-214-3412-7.
- [19] JIŘI GOLLNER, JOSEF BERAN, profiber.eu [online], 2 apríl 2012 [cit. 2012-04-03], CWDM a WDM měření v metropolitní a přístupové síti. Dostupné z WWW: <http://www.profiber.eu/files/15.3.2012%20Ji%C5%99%C3%AD%20G%C3%B6llner,%20Josef%20Beran%20-%20CWDM%20a%20WDM%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20v%20metropolitn%C3%AD%20a%20p%C5%99%C3%ADstupov%C3%A9%20s%C3%ADti.pdf>.
- [20] KOMUNITA WIKIPEDIE. MPEG-4 [online]. 18.5.2008 [cit. 2012-02-05]. Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Mpeg-4_Part_14.

Zoznam príloh

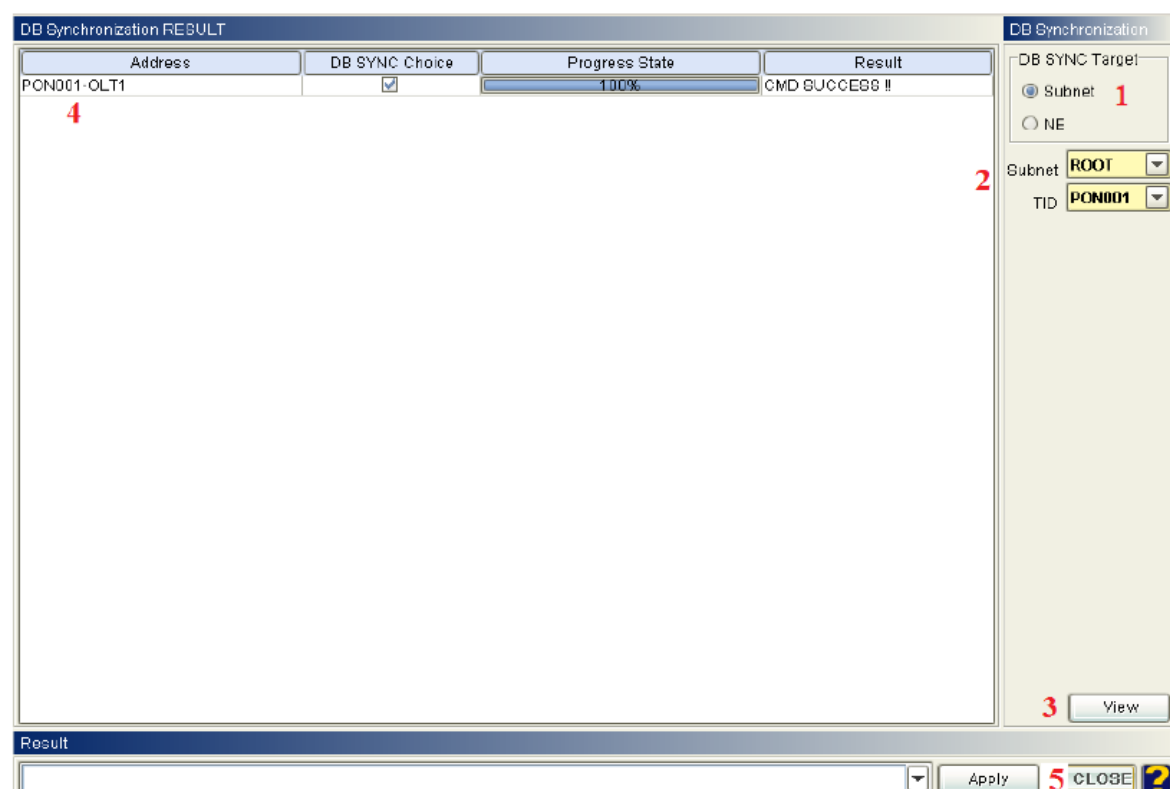
Príloha 1: Konfigurácia WDM-PON softwarom EA Manager StandAlone

Príloha 1: Konfigurácia WDM-PON softwarom EA Manager StandAlone

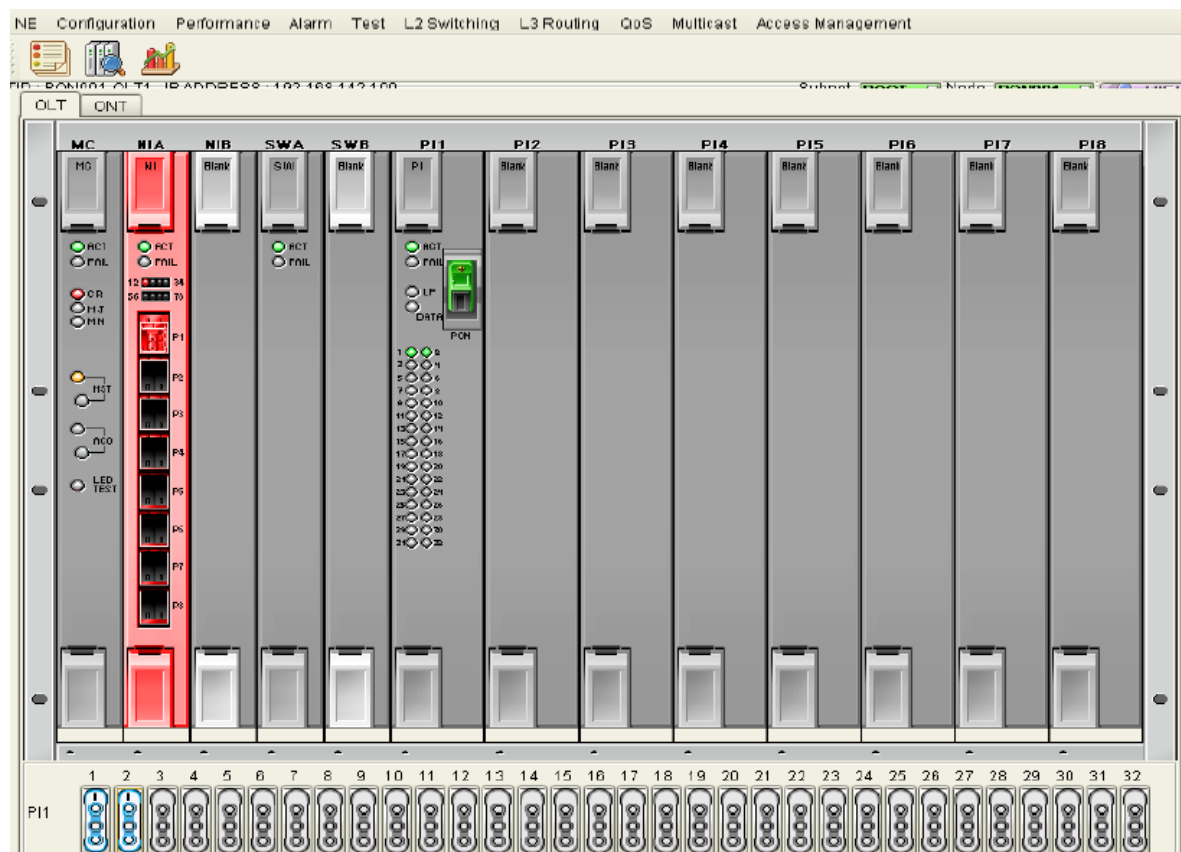
Úvodné okno:



Synchronizácia databázy:



Okno so zásuvnými kartami:



Okno s aktiváciou jednotlivých ONU:

